CAPITULO 1:
Estado del arte y antecedentes generales del concreto reforzado

1.1 Aspectos históricos

A lo largo del tiempo, el hombre ha ido perfeccionando los materiales de construcción para mejorar su condición de vida en la sociedad.Así fue como empezó a añadir paja a los bloques de adobe, pelos de caballo a la mampostería de mortero, entre otras técnicas de construcción que se remontan a tiempos memorables.

Más adelante, alrededor de 1898, se efectuó el uso de fibras de asbesto en la pasta de cemento debido a la implementación del proceso Hatschek; sin embargo, en 1960 a 1970 se retiró debido a los problemas de salud que generaba.

En tiempos recientes, las industrias de la producción de materiales de construcción optaron por usar fibras en los diversos productos como cerámicos, plásticos, cementos con el fin de mejorar las propiedades tales como la resistencia a la tracción, a la compresión, mejor comportamiento ante el impacto, control de fisuras entre otros.

Este proceso no fue ajeno al concreto.En 1960 en los Estados Unidos, se empezó a hacer investigaciones acerca de las propiedades de las fibras de acero como material de refuerzo al concreto, se llevaron a cabo investigaciones,

experimentos y posibles aplicaciones de este material. Alrededor de 1970, la elaboración de fibras de acero se introdujo en el mercado europeo; sin embargo, las normas y recomendaciones no estaban muy difundidas y estudiadas por lo que hubo dificultades en su aceptación, y su uso se derivó a lugares menos críticos de la construcción, en los que se usó como un sustituto de refuerzo o para el control de fisuras.

En la actualidad, las fibras de acero son usadas como el principal refuerzo para losas de piso industriales, segmentos de túneles, dovelas prefabricadas y cada día se revela como el mejor producto para carreteras que soportan tráfico pesado. Esta evolución de las aplicaciones se basó en los estudios e investigaciones llevados a cabo en muchas universidades, institutos técnicos así como en comités internacionales que velan por la mejora de la calidad y aplicaciones de este material.

1.2 Tipos, propiedades y características de las fibras de acero.

Los cuatro tipos de fibras de acero según la clasificación ASTM son los que se muestran a continuación:

Tipo I: Alambre trefilado en frío.

Tipo II: Hojas sueltas.

Tipo III: Extraídos en fusión.

Tipo IV: Otros tipos de fibras.

Las fibras de alambre trefilado en frío son procesadas a través de esferas de acero que son estiradas para formar hilos de alambre de sección circular que posteriormente son fruncidas para formar fibras deformadas; las fibras Wirand FF1 y FF3 pertenecen al primer grupo.Estas están caracterizadas por ser de forma rectilínea y doblada. Los extremos de ambas fibras son mecánicamente deformados para proveer una máxima adhesión entre las fibras de acero y el concreto.

A continuación, se muestra la geometría de las fibras.

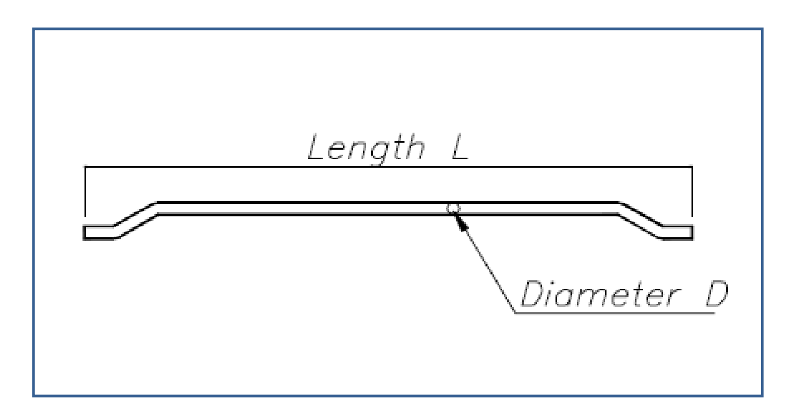


Figura 1.Sección de las fibras
Fuente: Technical Data Sheet. Maccaferri.

Las fibras Wirand FF1 y FF3 son fibras moldeadas y cortadas en acero trefilado en frío.Sus características se proveen en la siguiente tabla.

Código de fibra	Material de producción	Resistencia a la tracción [Mpa]	Dimensiones			Cantidad de fibras por Kg
			Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Relación de aspecto [L/d]	
Wirand FF1	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frio	1100	50	1.00	50	3212
Wirand FF3		1200	50	0.75	67	5710

Las fibras son utilizadas como refuerzo del concreto y poseen una superficie homogénea. Además, poseen un refuerzo de zinc que permite su protección ante climas agresivos.

A continuación, se muestra una tabla que compara las propiedades que aportan las fibras Wirand FF1 y FF3, el valor de (4) se designa para el mejor desempeño y (1) para el mínimo.

Propiedades cualitativas del concreto fibroreforzado	Tipos de fibra	
	Wirand FF1	Wirand FF3
Ductilidad y tenacidad	3	4
Resistencia a la fatiga	2	2
Resistencia al impacto	3	3
Permeabilidad	2	2
Control de microfisuración	1	1
Resistencia a la abrasión	1	1
Retracción a largo plazo	4	4

Propiedades mecánicas	FF1	FF3
Resistencia a tracción del acero [MPa]	>1100	>1100
Deformación en la ruptura [%]	<4	<4
Módulo elástico [Mpa]	210000	210000

Información obtenida del manual: Fibras como elemento estructural para el Refuerzo del Hormigón. Brasilia: MACCAFERRI América Latina

1.3 Mejoras en las propiedades mecánicas y térmicas del hormigón.

Ductilidad: Las fibras de acero mejoran el comportamiento del hormigón y aumentan sus propiedades mecánicas al originar el aumento de la resistencia a la tracción.También imparte una ductilidad post-grieta a la matriz de cemento evitando el comportamiento frágil de su naturaleza. Las mejoras de la ductilidad dependen de la

cantidad de fibras que han sido añadidas al concreto y su la mejora de su resistencia depende del enganche que poseen.

Compresión: Se puede observar un aumento de la compresión de 0 a 15% si la cantidad de fibras colocadas es mayor al 1.5% del volumen total.

Tensión directa: La influencia en la tracción directa es muy importante ya que es del orden de 30 a 40% si la cantidad de fibras colocadas es mayor al 1.5% del volumen total.

Cortante y torsión: Aunque no hay mucha información desarrollada acerca de los efectos en el corte y torsión que producen las fibras, esta propiedad se ve modificada de acuerdo al alineamiento de las fibras.

Debido al aumento de la tenacidad, se acrecienta la capacidad de absorción de energía en la deformación post-figuración.

Asimismo, se posee un mayor control de las grietas ocasionadas por la exudación del concreto y el flujo plástico. Además provee una mejor performance ante ciclos de fatiga, control de la permeabilidad, aumento de la capacidad de carga, control de la penetración de agentes oxidantes.

1.4 Aplicaciones del concreto reforzado con fibras de acero FF1 y FF3

Las fibras WirandFF1 y FF3 son fibras de bajo contenido de carbono que permiten extender las propiedades del concreto. Sus usos se aplican hacia las siguientes aplicaciones:

Aplicaciones residenciales: piscinas, zapatas, capas de compresión, capas colaborantes en uso conjunto con acero longitudinal.

Aplicaciones industriales y estructurales:

- Soleras industriales
- Carreteras que soportan tráfico pesado.
- Pavimentos de aeropuertos.
- Túneles.
- Pisos industriales, entre otros.

CAPITULO 2:
Diseño de mezcla

2.1 Objetivo general

Determinar experimentalmente el valor de Re3, resistencia equivalente a la flexión, mediante en ensayo japonés JCA SF-4 utilizando los materiales producidos en la fábrica de Maccaferri del Perú y compararlos con investigaciones anteriores realizadas en Maccaferri de Italia.

Objetivos específicos

- Seguir procedimientos de laboratorio para los ensayos utilizando la norma japonesa JCA SF-04 y la norma ASTM C1609.
- Obtener la curva resistencia vs w/c de las mezclas con los agregados locales para obtener precisión en el diseño de mezcla.
- Obtener valores del Re.3 para dos tipos de fibras, dos tipos de dosificaciones y tres tipos de resistencias de concreto para vigas prismáticas.
- Utilizar metodología de diseño basada en la norma TR 34 de la Sociedad Inglesa del Concreto.

En el presente trabajo se busca obtener el valor Re3, para 3 dosificaciones de concreto (210, 245 y 280 kg/cm2) por dosificación de fibra (20 y 25kg/m3) para cada tipo de fibra Wirand FF1 Y FF3.

Si bien es cierto, ya se cuentan con resultados de ensayos realizados en otros países años atrás, la intención es la de obtener resultados con materiales locales y resistencias usuales en la práctica ingenieril de nuestro país.

Con lo cual se busca que las condiciones de trabajo sean las más parecidas a nuestra realidad e implementar el uso del producto en el Perú. Situación que no se ha realizado en nuestro país, debido a la poca iniciativa de investigación, lo cual conlleva a tener que adaptar nuestra realidad a la de otro lugar.

2.2 Ensayo de los agregados

El diseño inicial se realizó de acuerdo al método de Füller. La información que se requería para poder realizar el diseño de la mezcla, se obtuvo a partir de los ensayos en el laboratorio a los agregados, y fueron los siguientes:

2.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

El ensayo se realizó con las indicaciones de la norma ASTM C136 y la NTP 400.012. Mediante este método se obtiene la granulometría de los agregados al ser tamizados por las mallas normalizadas.

El objetivo del ensayo es el de trazar la curva granulométrica, y a partir de ello determinar el Tamaño Máximo Nominal para el caso del agregado grueso y el Módulo de Fineza para el caso del agregado fino.

El Tamaño Máximo nominal (TM), se entiende como la abertura del menor tamiz de la serie usada que comienza a retener. Generalmente, es el tamiz que retiene el 15% o menos.

El módulo de finura (MF) se entiende como la suma de los porcentajes retenidos desde la malla #4 a la #100, dividido entre 100.

$$MF = \frac{(R4 + R8 + R16 + R30 + R50 + R100)}{100}$$

Agregado grueso:

TAMIZ	MATERIAL RETENIDO		RET (AC)	PASA (AC)
ASTM	gr	%	%	%
1 1/2"	0	0	0	100.00
1"	2121	21.21	21.21	78.79
3/4"	4479	44.79	65.99	34.01
1/2"	2379	23.79	89.78	10.22
3/8"	530	5.30	95.08	4.92
#4	320	3.20	98.28	1.72
< #4	172	1.72	100.00	0.00
TOTAL	10001	100		

TM = 1”



Foto1: Agregado grueso

Agregado fino:

TAMIZ	MATERIAL RETENIDO		RET (AC)	PASA (AC)
ASTM	gr	%	%	%
3/8"	2.04	0.42	0.42	99.58
#4	15.07	3.10	3.52	96.48
#8	42.57	8.76	12.28	87.72
#16	80.66	16.60	28.87	71.13
#30	116.72	24.01	52.89	47.11
#50	87.91	18.09	70.97	29.03
#100	109.17	22.46	93.43	6.57
#200	22.68	4.67	98.10	1.90
< #200	9.23	1.90	100.00	0.00
TOTAL	486.05	100.00		

MF = 2.62



Foto2: Agregado Fino

2.2.2 Peso específico

Para el caso del agregado grueso el ensayo se realizó con las indicaciones de la norma ASTM C127 y la NTP 400.021; y para el agregado fino se usó la norma ASTM C128 y NTP 400.022

Mediante este ensayo se determina el peso específico y la absorción del agregado.

Elemento	Peso específico
Piedra	2.737
Arena	2.680

Mayor detalle en el Anexo 1.

2.2.3 Peso unitario compactado y suelto

El ensayo se realizó con las indicaciones de la norma ASTM C29 y la NTP 400.017.

Elemento	Peso unitario suelto (g/cm3)	Peso unitario compactado (g/cm3)
Piedra	1.495	1.585
Arena	1.695	1.785

Mayor detalle en el Anexo 2.

2.2.4 Humedad natural y actual

El ensayo se realizó con las indicaciones de la norma ASTM C566 y NTP 339.185

Para el diseño propiamente dicho, se siguieron los pasos indicados en el método del A.C.I, en el reporte A.C.I 211.1-91, la cual es una práctica estandarizada para dosificar concretos normales y pesados.

2.2.5 Humedad de absorción

El ensayo para el agregado grueso se basó en la norma NTP 400.021 y el ensayo para el agregado fino en la norma NTP 400.022 obteniéndose los siguientes resultados:

Elemento	Humedad de absorción (%)
Piedra	0.500
Arena	1.139

Los valores con los que el procedimiento de diseño de mezclas Fuller recomienda diseñar, son valores obtenidos de ensayos con materiales diferentes a los

que se tienen aquí en Perú. Por lo tanto, para efectos de precisión, por ser tema de tesis, se va a ensayar tres probetas por cada relación w/c* con el fin de obtener la curva f'c vs. w/c real, con probetas ensayadas a los 28 días. Y a partir de los datos de dicha curva, se realizará la dosificación por el método de Füller.

2.3 Diseño de Mezclas por el método de Füller

Para empezar a diseñar con el método Füller se necesita la granulometría de los agregados.

Ley de Füller

$$Pd = 100\sqrt{(\frac{d}{D})}$$

Donde:

Pd: Porcentaje que pasa la malla d
d: abertura de la malla en referencia
D: Tamaño máximo del agregado grueso

ASTM	mm	Füller
1"	25,40	100,00
3/4"	19,00	86,49
1/2"	12,70	70,71
3/8"	9,51	61,19
#4	4,76	43,29
#8	2,38	30,61
#16	1,19	21,64
#30	0,60	15,31
#50	0,30	10,81
#100	0,15	7,66
#200	0,07	5,40

x=	0.439
Fino	0.489
Grueso	0.511

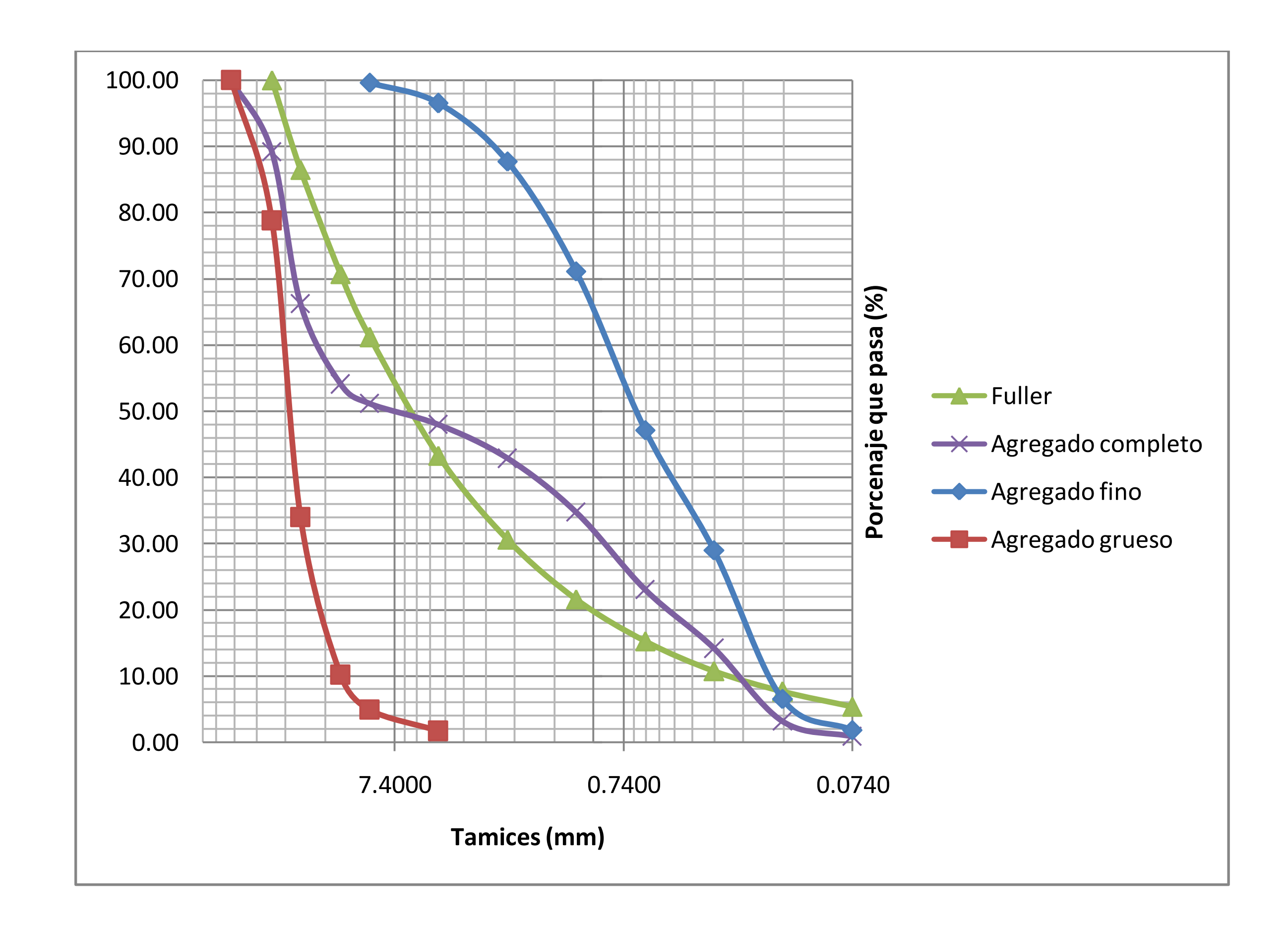
Debido a que el valor de x=0.439 para agregado fino no compensa las áreas por encima y debajo de la parábola de Füller, se procede a aumentar 0.05 al mencionado valor.

$$Fx + G(1 - x) = M$$

F	96.48
G	1.72
M	43.29

Producto de la mezcla del agregado fino y el agregado grueso

ASTM	mm	%
1 1/2"	38.1	100.00
1"	25.4	89.16
3/4"	19	66.26
1/2"	12.7	54.09
3/8"	9.51	51.18
#4	4.76	48.03
#8	2.38	42.87
#16	1.19	34.76
#30	0.595	23.02
#50	0.297	14.18
#100	0.149	3.21
#200	0.074	0.93



A continuación se procede a realizar la dosificación:

Se utilizó cemento Andino Tipo I y los agregados eran provenientes de la cantera Gloria.

	TM	MF	Puc	Pus	Pem	Wabs	Wactual
Piedra	1	-	1.585	1.495	2.737	0.500	0.231

Arena	-	2.620	1.785	1.695	2.680	1.139	1.410

2.3.1 Relación agua/cemento = 0.5

Fino	0.489
Grueso	0.511
w/c	0.500

Para 1m3

Material		Peso (kg)	Vol(m3)	
Agua		205	0.205	
Cemento		410	0.130	0.500
Aire		0	0.015	falta
Piedra	2.737	909	0.332	0.650
Arena	2.680	851	0.318	
	Peso total	**2376**	**1.000**	

Corrección por humedad del agregado

Agregado	Peso (kg)	Wabs	Wact	(Wabs-Wact)	Corrección
Piedra	909	0.5	0.231	0.269	2.4
Arena	851	1.139	1.41	-0.271	-2.3

Peso húmedo de los agregados

Agregado	Peso (kg)	Wact	Corrección	P.Húmedo
Piedra	909	0.231	2.1	911.5
Arena	851	1.41	12.0	863.1

La dosificación corregida para 1m3

Material	Peso (kg)
Agua	205
Cemento	410
Aire	0
Piedra	912
Arena	863
	2390

2.3.2 Relación agua/cemento = 0.6

Fino	0.489
Grueso	0.511
w/c	0.600

Para 1m3

Material		Peso (kg)	Vol(m3)	
Agua		205	0.205	
Cemento	1.67	342	0.108	0.600
Aire		0	0.015	falta
Piedra	2.737	940	0.343	0.672
Arena	2.680	879	0.328	
	Peso total	2366	1.000	

Corrección por humedad del agregado

Agregado	Peso (kg)	Wabs	Wact	(Wabs-Wact)	Corrección
Piedra	940	0.5	0.231	0.269	2.5
Arena	879	1.139	1.41	-0.271	-2.4

Peso húmedo de los agregados

Agregado	Peso (kg)	Wact	Corrección	P.Húmedo
Piedra	940	0.231	2.2	942.0
Arena	879	1.41	12.4	891.9

Dosificación corregida para 1m3

Material	Peso (kg)
Agua	205
Cemento	342
Aire	0
Piedra	942
Arena	892
	2381

2.3.3 Relación agua/cemento = 0.7

Fino	0.489
Grueso	0.511
w/c	0.700

Para 1m3

Material		Peso (kg)	Vol(m3)	
Agua		205	0.205	
Cemento	1.42835	293	0.093	0.700
Aire		0	0.015	falta
Piedra	2.737	961	0.351	0.687
Arena	2.680	900	0.336	
	Peso total	**2359**	**1.000**	

Corrección por humedad del agregado

Agregado	Peso (kg)	Wabs	Wact	(Wabs-Wact)	Corrección
Piedra	961	0.5	0.231	0.269	2.6
Arena	900	1.139	1.41	-0.271	-2.4

Peso húmedo de los agregados

Agregado	Peso (kg)	Wact	Corrección	P.Húmedo
Piedra	961	0.231	2.2	963.7
Arena	900	1.41	12.7	912.5

Dosificación corregida para 1m3

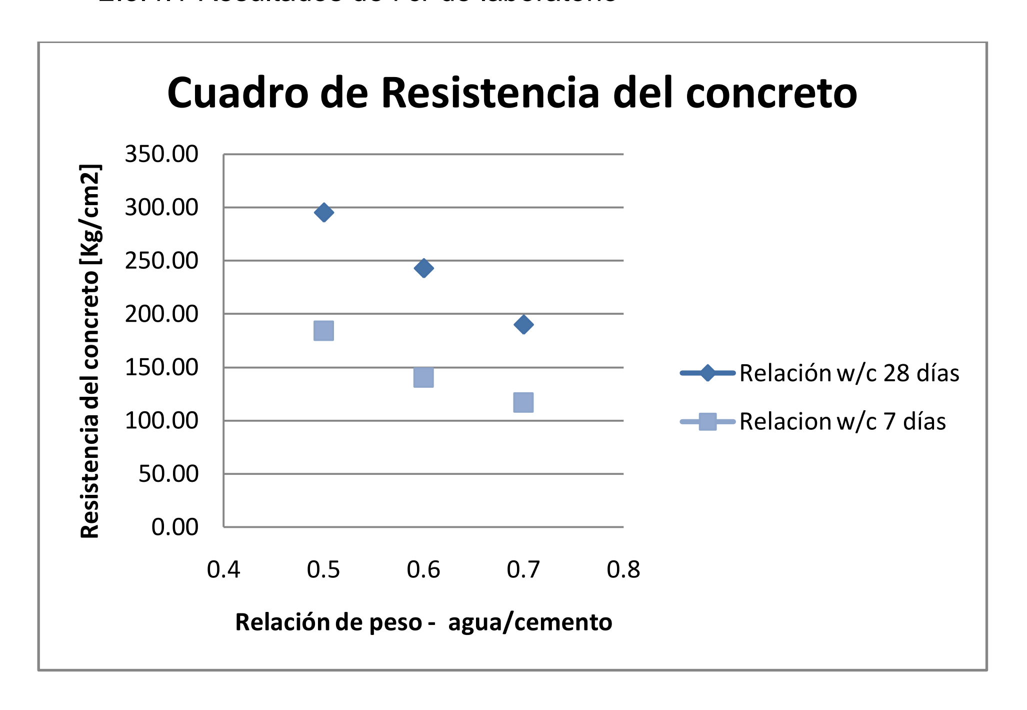
Material	Peso (kg)
Agua	205
Cemento	293
Aire	0
Piedra	964
Arena	912
	2374



Foto3: Probetas Realizadas para el Diseño de Mezcla

2.3.4 Resultados y evaluación de probetas previas para la elaboración del concreto

2.3.4.1 Resultados de f'cr de laboratorio

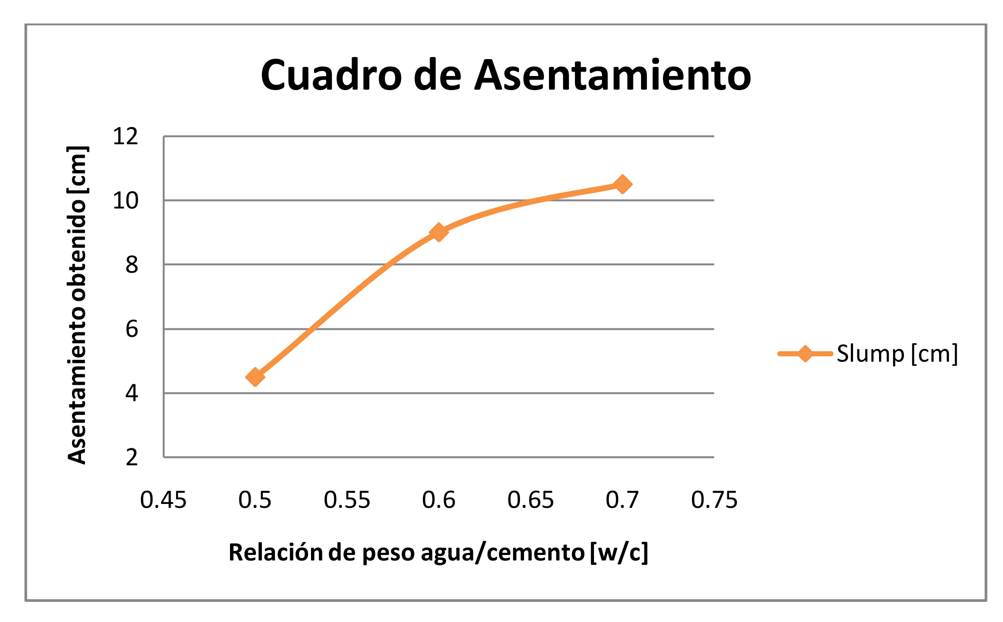


f'c [Kg/cm2]	fcr [Kg/cm2]	w/c
210	219.21	0.64
245	255.74	0.57
280	292.28	0.51

2.3.4.2 Resultados de asentamiento de concreto fresco

Los resultados que se muestran a continuación son aquellos obtenidos en el concreto sin fibras de acero:

w/c	Slump [cm]
0.5	4.5
0.6	9
0.7	10.5



Para las dosificaciones del ensayo, se hallaron las relaciones agua/cemento respectivas y el asentamiento que se espera según la tabla se muestra enseguida:

f'c [Kg/cm2]	w/c	Slump [cm]
280	0.51	5.1
245	0.57	8
210	0.64	10

2.4 Fabricación de Probetas prismáticas

2.4.1 Diseño de mezclas finales

2.4.1.1 f'c = 210 Kg/cm2

Fibra	Humedad [%]	
	Piedra	Arena
FF1	0.285	0.711
FF3	0.337	0.883

Fibra	Dosificación de fibra	Dosificación de prueba [Kg]					Slump
		Agua	Cemento	Piedra	Arena	Fibra	[cm]
FF1	20.0	3.24	4.92	14.11	13.28	0.300	3.5
	25.0					0.375	4.5
FF3	20.0	3.21	4.92	14.12	13.30	0.300	1.5
	25.0					0.375	2.0

Dosificación final [Kg]				
Agua	**Cemento**	**Piedra**	**Arena**	**Fibra**
17.36	26.48	67.13	63.17	1.487
17.21	26.25	67.44	63.46	1.858
17.51	26.95	66.54	62.69	1.487
17.44	26.83	66.70	62.84	1.858

2.4.1.2 f'c=245 Kg/cm2

Fibra	Humedad	
	Piedra	**Arena**
FF1	0.337	0.864
FF3	0.280	0.909

Fibra	Dosificación de fibra	Dosificación de prueba [Kg]					Slump
		Agua	**Cemento**	**Piedra**	**Arena**	**Fibra**	**[cm]**
FF1	20.0	3.27	5.63	13.72	12.92	0.300	5.4
	25.0					0.375	5.0
FF3	20.0	3.27	5.63	13.71	12.93	0.300	3.5
	25.0					0.375	5.0

Dosificación final [Kg]				
Agua	**Cemento**	**Piedra**	**Arena**	**Fibra**
17.24	29.76	65.69	61.87	1.487
17.30	29.86	65.56	61.75	1.858
17.53	30.25	65.03	61.32	1.487
17.31	29.86	65.52	61.78	1.858

2.4.1.3 f'c=280 Kg/cm2

Fibra	Humedad	
	Piedra	**Arena**
FF1	0.201	0.787
FF3	0.337	0.883

Fibra	Dosificación de fibra	Dosificación de prueba [Kg]					Slump
		Agua	**Cemento**	**Piedra**	**Arena**	**Fibra**	**[cm]**
FF1	20.0	3.38	6.46	13.21	12.45	0.300	4.0
	25.0					0.375	3.0
FF3	20.0	3.24	6.25	13.48	12.7	0.300	4.0
	25.0					0.375	3.5

Dosificación final [Kg]				
Agua	**Cemento**	**Piedra**	**Arena**	**Fibra**
17.99	34.51	62.59	58.99	1.487
18.14	34.80	62.25	58.67	1.858
17.85	34.51	62.67	59.04	1.487
17.93	34.66	62.50	58.88	1.858

2.4.2 Colocación, vibrado y curado.

Los moldes de las probetas prismáticas, así como las circulares fueron ubicados en un lugar cercano al trompo de preparación de la mezcla del concreto con fibras de acero y se aseguró que el sitio fuera una superficie plana.

Tipo de Espécimen y Tamaño (profundidad)	Modo de Consolidación	Número de Capas de profundidad aproximada
Prismático (hasta 200mm)	Varillado	2
Prismático (más de 200mm)	Varillado	3 o más
Prismático (hasta 200mm)	Vibración	1
Prismático (más de 200mm)	Vibración	2 o más

Tabla1: Número de capas por espécimen
Fuente: Adaptado de ASTM C192

Área de la Superficie Superior del Espécimen, in^2 (cm^2)	Diámetro de la varilla in. (mm)	Número de veces a varillar/capa
25 (160) o menos	3/8 (10)	25
26 a 49 (165 a 310)	3/8 (10)	Una por cada 1 in^2 ($7cm^2$) de superficie
50 (320) o más	5/8 (16)	Una por cada 2 in^2 ($14cm^2$) de superficie

Tabla2: Diámetro de la varilla y número de veces a varillar por espécimen
Fuente: Adaptado de ASTM C192

Para el caso de los moldes prismáticos, se llenaron hasta la mitad con el concreto mezclado incorporado de fibras, se varilló 63 veces en espiral y se golpeó con el martillo de goma 15 veces en el perímetro, este procedimiento se llevó a cabo dos veces, es decir, por el número de capas. Al final se añadió un poco más de concreto para enrasarlo y colocar su nomenclatura.

El procedimiento que se siguió para la probeta circular fue el siguiente: se rellenó el concreto a cada tercio, se realizó el varillado en espiral para evitar la segregación del concreto, luego se realizaron los golpes con el martillo de goma, se repitió este

procedimiento por las tres capasy por último se agregó un poco de concreto para el enrasado final (ver referencias en ASTM C192).

Los moldes se removieron al día siguiente de su preparación y fueron llevados cuidadosamente a una habitación de curado hasta los 28 días de su elaboración.Se extrajeron de la misma forma para el ensayo mecánico y fueron cubiertos con un manto húmedo hasta el ensayo de tenacidad.

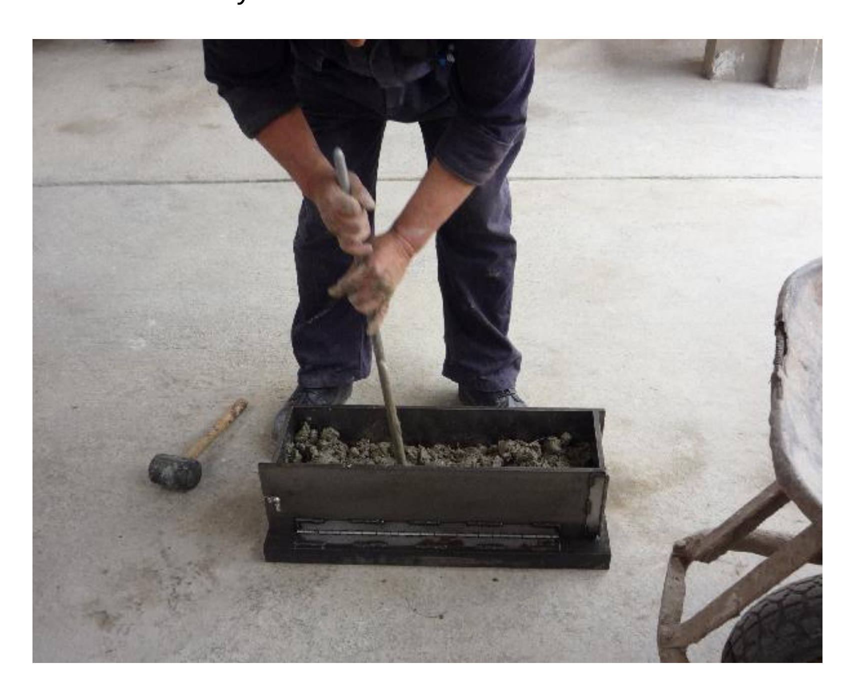


Foto5: Operario varillando la mezcla

2.5 Pruebas Realizadas en Campo al Concreto Fresco

2.5.1 Asentamiento, peso unitario y porcentaje de aire

Fibra	Dosificación de fibra [Kg]	F'c [Kg/cm2]	Slump [cm]	Peso de olla con concreto [Kg]	Peso unitario [Ton/m3]	Porcentaje de aire
FF1	20	210	12.5	20.215	2.391	1.1%
FF1	25	210	13.0	20.185	2.386	0.9%
FF3	20	210	13.5	20.135	2.379	0.8%
FF3	25	210	14.0	20.315	2.405	0.8%
FF1	20	245	13.5	20.235	2.393	0.9%
FF1	25	245	13.0	20.390	2.415	1.1%
FF3	20	245	14.5	20.185	2.386	0.9%
FF3	25	245	13.0	20.250	2.395	1.0%
FF1	20	280	11.5	20.055	2.368	1.0%
FF1	25	280	12.5	20.065	2.369	0.9%
FF3	20	280	12.5	20.085	2.372	1.1%
FF3	25	280	13.5	20.165	2.383	1.0%



Foto6: Prueba de asentamiento



Foto7: Prueba de Contenido de Aire

2.6 Pruebas de Laboratorio realizadas al concreto a los 28 días

2.6.1 Ensayo de tenacidad en base a la norma JIS A 1106

Se emplearán las normas japonesas JCI–SF4 y la JIS A 1106 para la determinación del esfuerzo a flexión del concreto, utilizando probetas prismáticas (6”x6”x21”) simplemente apoyadas, con cargas a los tercios.

- Máquina de ensayos: Deberá ser del tipo hidráulico, con una capacidad máxima no mayor a 100 tonf.

- Dispositivo de prueba de flexión: El dispositivo para la aplicación de la carga a los tercios es capaz de aplicar la carga a los dos puntos verticalmente y sin excentricidad, y es estable al configurar la muestra, además, tiene la suficiente rigidez. El apoyo se compone de dos rodillos de apoyo y dos rodillos de aplicación de carga, y permite el desplazamiento libre del espécimen en la dirección axial. Además, todos los cilindros son de acero, tienen sección circular de 20 mm a 40 mm de diámetro y son al menos 10 mm más largos que el ancho de la muestra. Todos los rodillos, excepto uno son capaces de girar sobre sus ejes y el plano normal puede ser inclinado al eje de la muestra.

- Dispositivo de medición de deflexión: El aparato de medición de deflexión utilizado para medir la curva carga-deformación de un espécimen será el transformador diferencial de variación lineal (LVDT) y de los dispositivos para sujetarlos, y será capaz de medir la deflexión con la precisión adecuada. Deberá ser capaz de medir hasta 3mm.

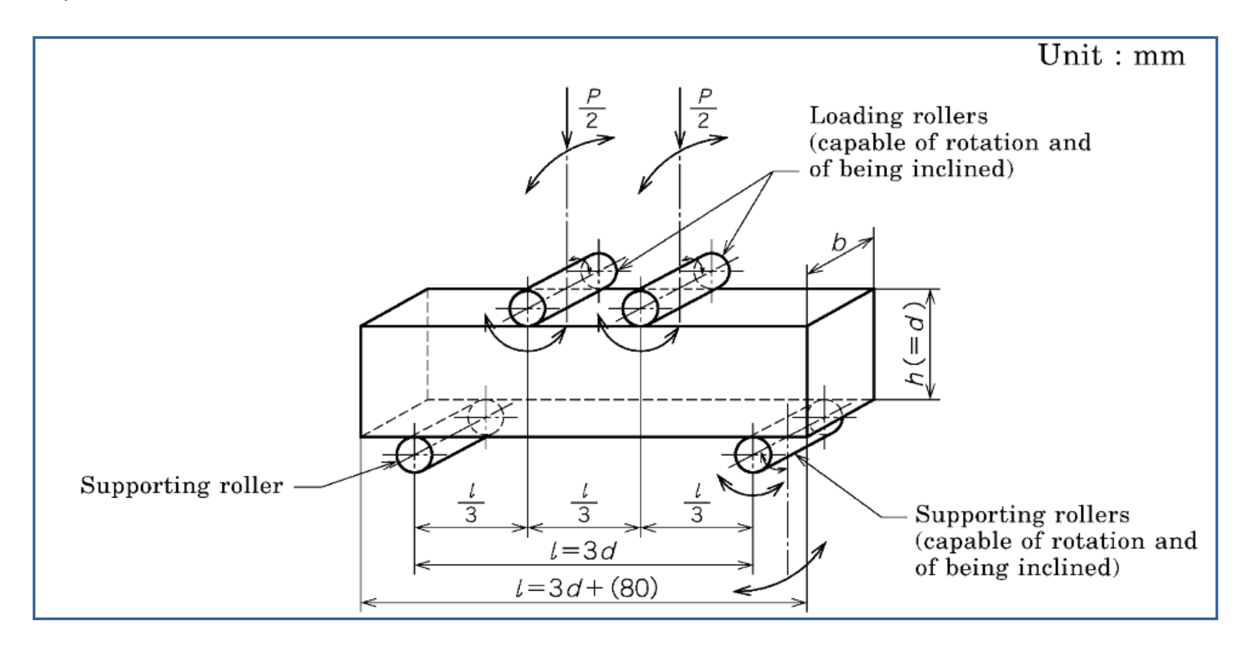


Figura2. Ejemplo de ensayo de carga a los tercios.
Fuente: Japan Industrial Standard A1106:2006

- Metodología de ensayo:

1. La máquina de ensayo se usará en el rango desde 1/5 hasta su capacidad máxima. Cuando sea posible cambiar la capacidad con la misma máquina de ensayos, el rango será considerado para cada capacidad por separado.
   a. *Nota: Si el rango de la carga está muy cerca al límite superior este deberá ser cambiado.*

2. La luz deberá ser tres veces el valor nominal de la longitud de una de las caras de la sección transversal.

3. Se coloca la muestra en el centro de los apoyos inferiores, a continuación, se coloca el dispositivo de carga superior en contacto con los puntos a cada tercio de la luz. No debe existir ningún espacio entre la superficie de la probeta y la superficie del aplicador de carga.
   a. *Nota: Si existiese algún espacio entre las superficies del espécimen y el aplicador de carga se deberá pulir de manera plana la superficie de la probeta que está en contacto con el apoyo hasta lograr que ambas contacten con fuerza.*

4. A fin de no quebrar la muestra se deberá aplicar una carga con una velocidad uniforme. La velocidad que se aplica deberá ser controlada de manera que el rango de incremento del esfuerzo de la fibra sea de 0.06±0.04 N/mm^2 por segundo y su tasa de crecimiento se conservará hasta llegar a la carga máxima.

5. Anotar hasta los tres dígitos significativos de la máxima carga indicada por la máquina de ensayo hasta la falla del espécimen.

6. Medir el ancho de la sección transversal rota en los tres lugares con una precisión de 0.1mm, luego promediar y tomar cuatro cifras significativas.

7. Finalmente, medir la altura de la sección transversal rota en los dos lugares con una precisión de 0.1mm, luego promediar y tomar cuatro cifras significativas.

Cálculos

- <u>Resistencia a la flexión</u>

Se calculará acorde con la siguiente ecuación, y será determinada hasta la tercera cifra significativa:

$$f_b = \frac{P \times l}{b \times h^2}$$

donde, f_b : resistencia a la flexión (N/mm^2);
P : la carga máxima que indica la máquina de ensayos (N);
l : longitud del claro entre apoyos del ensayo (mm);
b : ancho de la sección transversal rota obtenida en (6) (mm);
h : peralte de la sección transversal rota obtenida en (8) (mm).

- <u>Tenacidad</u>

La tenacidad se determinará hasta la tercera cifra significativa del área bajo la curva carga-deflexión hasta que se mida una deflexión de 3mm.

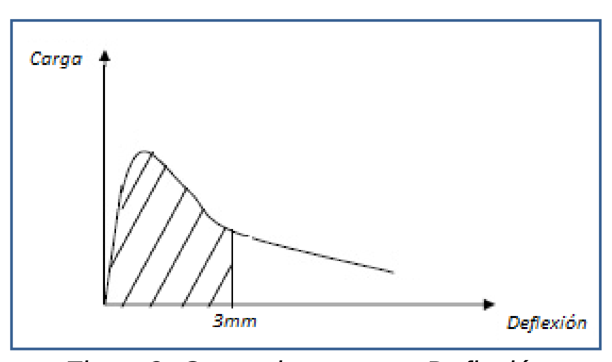


Figura3. Curva de carga vs Deflexión

La tenacidad será expresada mediante el factor de tenacidad:

$$\overline{\sigma_b} = \frac{\tau_b}{\delta_{tb}} \cdot \frac{l}{bh^2}$$

donde, $\overline{\sigma_b}$: factor de tenacidad (kgf/cm^2) (N/mm^2);

t_b : tenacidad (kgf.cm);

δ_{tb}: deflexión de 1/150 de la longitud entre claros, para el caso en estudio será de 3mm.

El valor de Re3 será:

$$Re3 = \frac{\overline{\sigma_b}}{f_b}$$

2.6.2Resistencia a la Compresión

Se realizaron ensayos a compresión de acuerdo a la norma ASTM C39 "Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto".



Foto4: Máquina de Ensayos a Compresión

De las doce probetas circulares, con los dos tipos de fibras, dos dosificaciones de las mismas, y tres resistencias; se obtuvieron los siguientes resultados:

Fibra	Dosificación (kg/m3)	w/c	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Pmax (KN)	Esfuerzo (kg/cm2)
FF1	20	0.51	15.53	15.42	15.475	555.1	300.85
		0.57	15.4	15.33	15.365	531.3	292.09
		0.64	15.32	15.34	15.33	416.4	229.97
	25	0.51	15.42	15.35	15.385	575.7	315.68
		0.57	15.29	15.32	15.305	538.5	298.37
		0.64	15.32	15.46	15.39	422.8	231.68
FF3	20	0.51	15.34	15.33	15.335	568.6	313.82
		0.57	15.31	15.22	15.265	480.7	267.74
		0.64	15.27	15.31	15.29	438.3	243.33
	25	0.51	15.37	15.32	15.345	581.9	320.74
		0.57	15.24	15.26	15.25	500.7	279.43
		0.64	15.31	15.27	15.29	439.9	244.22

2.6.3 Resultados del ensayo a flexión

Fibra	Dosificación (kg/m3)	w/c	Pmax (KN)	Área	Antes de ensayo (mm)					Después del ensayo (mm)							
					Peralte "h"		Long "L"			Ancho "b"				Peralte "h"			
					h1	h3	Lsup	Linf	Lo	b1	b2	b3	bprom	h1	h2	h3	hprom
FF1	20	0.51	27.399	27.558	151	152	533	534	453	154	154	153	153.67	151	151.5	152	151.5
			29.542	30.224	153	153	533	533	459	154	153	153	153.33	153	153	153	153.00
			31.571	21.876	152	153	534	533	458	154	154	153.5	153.83	152	152	153	152.33
		0.57	27.066	39.255	152	152	535	534	456	154	154	153	153.67	152	152	152	152.00
			30.574	44.772	152	152	535	537	456	154	153	154	153.67	152	152	152	152.00
			29.09	61.706	151	152	534	534	455	152	151.5	152	151.83	151	152	152	151.67
		0.64	23.588	38.65	152	152	535	534	456	153	153	153	153.00	152	152	152	152.00
			24.818	34.803	152	152	534	533	456	152.5	153	153.5	153.00	152	152	152	152.00
			27.857	35.814	151.5	152	534	533	456	153	153.5	153	153.17	151.5	152.5	152	152.00
	25	0.51	30.007	56.684	151.5	152	533	534	453	154	154.5	154	154.17	151.5	152	152	151.83
			28.473	54.561	151	151.5	535	534	453	154	155	153	154.00	151	151.5	151.5	151.33
			29.905	46.311	151	151.5	534	534	453	154	154	153	153.67	151	151.5	151.5	151.33
		0.57	31.631	59.709	151	151	534	533	453	153.5	154	153	153.50	151	151.5	151	151.17
			27.207	42.612	152	152	534	535	456	152.5	153	153	152.83	152	152	152	152.00
			29.653	38.055	151.5	151.5	533	534	454	152	153	153	152.67	151.5	151.5	151.5	151.50
		0.64	27.016	23.288	1525	152	534	533	456	152.5	153	153	152.83	152	152	152	152.00
			24.478	52.639	151	151.5	533	532	453	154	154	153	153.67	151	152	151.5	151.50
			24.776	32.2	151.5	151.5	533	534	454	153.5	153	153.5	153.33	151.5	151.5	151.5	151.50

2.6.3 Resultados del ensayo a flexión

					Antes de ensayo (mm)					Después del ensayo (mm)							
					Peralte "h"		Long "L"			Ancho "b"				Peralte "h"			
Fibra	Dosificación (kg/m3)	w/c	Pmax (KN)	Área	h1	h3	Lsup	Linf	Lo	b1	b2	b3	bprom	h1	h2	h3	hprom
FF3	20	0.51	26.521	33.374	152	152.5	535	534	456	153	153.5	154	153.50	152	152.5	152.5	152.33
			30.398	41.963	152	152	533	534	456	153	152.5	153	152.83	152	152	152	152.00
			28.417	52.521	152	152	533	535	456	153.5	154	153	153.50	152	152.5	152	152.17
		0.57	30.494	49.705	152	152	534	533	456	154	154	154	154.00	152	152.5	152	152.17
			30.662	74.629	151.5	152	534	535	456	153	154	154	153.67	152	152	152	152.00
			27.91	55.028	152	152	535	534	453	151.5	151.5	151.5	151.50	152	152	152	152.00
		0.64	23.96	56.469	152	152	534	533	456	152.5	151.5	152	152.00	152	152	152	152.00
			28.806	59.984	152	152	535	534	456	152.5	152	152.5	152.33	152	152.5	152	152.17
			24.646	23.741	151	151.5	533	533	453	152	152.5	152.5	152.33	151	151.5	151.5	151.33
	25	0.51	27.037	50.148	152.5	152	534	536	456	154	154.5	155	154.50	152.5	152.5	152	152.33
			26.71	41.531	152	152	533	533	456	154	154.5	154	154.17	152	152	152	152.00
			23.931	36.751	151.5	151	533	535	453	154	154.5	154	154.17	151.5	151.5	151	151.33
		0.57	23.736	41.871	151	151	535	534	453	151.5	151.5	151.5	151.50	151	151.5	151	151.17
			22.079	33.94	152	152	534	533	456	154	154	154	154.00	152	152	152	152.00
			26.608	53.485	152	152	535	535	456	153	153	153	153.00	152	152.5	152	152.17
		0.64	25.311	51.551	152	152	534	535	456	153	152.5	152	152.50	152	152.5	152	152.17
			20.144	22.608	151.5	152	533	534	456	152.5	152	152.5	152.33	151.5	152	152	151.83
			23.88	49.107	151	151.5	534	535	453	152	151.5	152	151.83	151	151.5	151.5	151.33

En las tablas anteriores se muestran las mediciones realizadas a todos los especímenes antes y después del ensayo. Además de la carga máxima obtenida de las gráficas de carga vs deformación, y al área de la curva al alcanzar los 3mm de deformación.

Se utilizó una velocidad de ensayo de 0.1mm/min (ASTM C1609), de acuerdo al tipo de probetas y resultados requeridos.

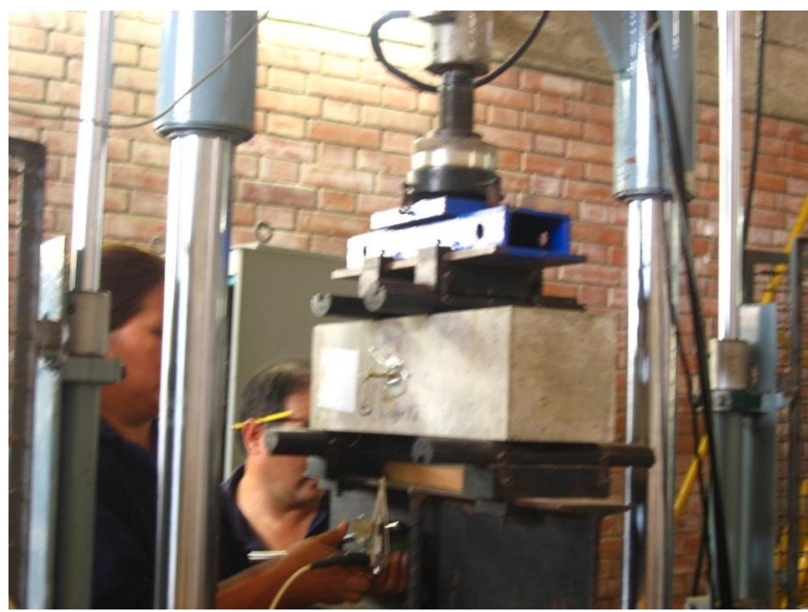


Foto 5: Ensayo a Flexión (Tenacidad) con carga a los tercios

2.6.4 Resultados de Re3

Los valores de Re3 promedio calculados fueron hallados con los resultados que presentaron menor variación numérica entre sí, y además considerando los gráficos obtenidos de los ensayos.

Fibra	Dosificación (kg/m3)	w/c	fb (N/mm2)	σb (N/mm2)	Re3	Re3 prom
FF1	20	0.51	3.51907E-06	1.17983E-06	0.3353	0.3381
			3.77775E-06	1.28832E-06	0.3410	
			4.05055E-06	9.3556E-07	0.2310	
		0.57	3.47634E-06	1.68063E-06	0.4834	0.4858
			3.9269E-06	1.91683E-06	0.4881	
			3.78973E-06	2.6796E-06	0.7071	
		0.64	3.04283E-06	1.66194E-06	0.5462	0.4480
			3.2015E-06	1.49652E-06	0.4674	
			3.58961E-06	1.53831E-06	0.4285	
	25	0.51	3.82469E-06	2.40831E-06	0.6297	0.5729
			3.65714E-06	2.33598E-06	0.6387	
			3.8494E-06	1.98707E-06	0.5162	
		0.57	4.08499E-06	2.57037E-06	0.6292	0.4749
			3.5135E-06	1.8343E-06	0.5221	
			3.84198E-06	1.64353E-06	0.4278	
		0.64	3.48884E-06	1.00247E-06	0.2873	0.5750
			3.1439E-06	2.25361E-06	0.7168	
			3.19614E-06	1.38461E-06	0.4332	



Fibra	Dosificación (kg/m3)	w/c	fb (N/mm2)	σb (N/mm2)	Re3	Re3 prom
FF3	20	0.51	3.39513E-06	1.42414E-06	0.4195	0.4398
			3.92559E-06	1.80636E-06	0.4602	
			3.64582E-06	2.2461E-06	0.6161	
		0.57	3.89959E-06	2.11877E-06	0.5433	0.6003
			3.93821E-06	3.1951E-06	0.8113	
			3.61209E-06	2.37389E-06	0.6572	
		0.64	3.11115E-06	2.44412E-06	0.7856	0.7399
			3.72404E-06	2.58491E-06	0.6941	
			3.20022E-06	1.02757E-06	0.3211	
	25	0.51	3.43878E-06	2.12608E-06	0.6183	0.5683
			3.41949E-06	1.7723E-06	0.5183	
			3.07043E-06	1.57176E-06	0.5119	
		0.57	3.10585E-06	1.82627E-06	0.5880	0.5502
			2.82967E-06	1.44993E-06	0.5124	
			3.42489E-06	2.2948E-06	0.6700	
		0.64	3.26863E-06	2.21907E-06	0.6789	0.6822
			2.61566E-06	9.78535E-07	0.3741	
			3.11097E-06	2.13248E-06	0.6855	

CAPITULO 3:

Diseño de pavimentos rígidos

3.1 Introducción

3.1.1 Finalidad y alcance

El diseño de la losa debe ser enfocado para que resista los momentos y cortantes causados por la aplicación de cargas, lo cual va a depender de la interacción entre la losa de concreto y los materiales de soporte.

Dichos materiales deben tener una aceptable y uniforme capacidad de resistencia a los cambios climáticos, para lo cual se requiere tener en cuenta reportes geotécnicos, clasificación y módulo de reacción de la sub rasante, preparación del terreno, entre otros.

3.1.2 Definiciones

El sistema de soporte de la losa consiste en la sub rasante, usualmente una base y a veces una sub base. La importancia de las condiciones de la sub rasante y rasante sobre la cual descansará la losa son importantes debido a que se busca lograr una superficie de apoyo uniforme para la losa con el fin que desarrolle una capacidad estructural óptima.

El material usado para la base generalmente son rocas trituradas, grava, arena gruesa los cuales tiene gran resistencia, baja compresibilidad, alta permeabilidad.



Previamente al vaciado de la losa, el terreno de cimentación de la sub rasante debe ser nivelado y compactado de suelos de manera que se garantice un apoyo uniforme y estable.

La estructura del orden del sistema de soporte, es el que se muestra en la figura siguiente.

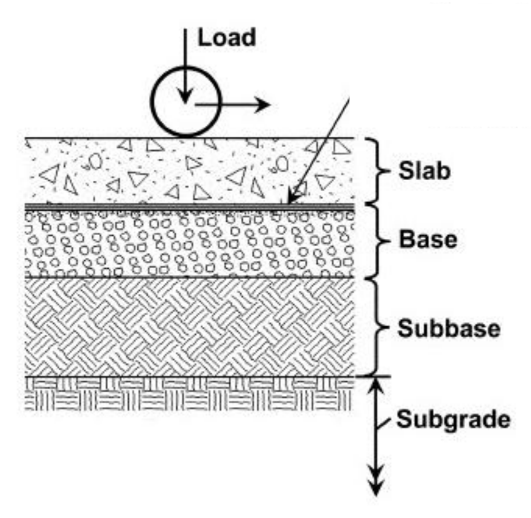


Figura 4: Adaptada de ACI 360R-06

3.2 Tipos de losa

3.2.1 Descripción general de losas

Las losas sobre piso tienen aplicaciones a nivel residencial, comercial, industrial entre otros, su uso se extiende a pavimentos, carreteras, lugares de estacionamiento, almacenes industriales, entre otros. Los principales tipos de losa son los siguientes:

- Losas sin refuerzos
- Losas reforzadas al ancho límite de rotura debido al control de contracción y temperatura.
- Losas reforzadas para prevenir la rotura mediante el control de contracción y temperatura.
- Losa estructural.

Losas sin refuerzo: estas losas no contienen ningún tipo de refuerzo; sin embargo, las juntas contienen clavijas de acero.Por lo general, son diseñadas para soportar cargas superficiales y cambios volumétricos mínimos.Estas losas carecen de resistencia ante fenómenos como la contracción por secado y fisuras.

Losas reforzadas al ancho límite de rotura debido al control de contracción y temperatura: estas losas pueden ser de tres tipos, las de refuerzo medio con alambre, reforzadas con fibras o reforzadas con acero continuo. La rotura por contracción es controlada por el refuerzo ubicado en el tercio superior de la losa, por lo general, los refuerzos de acero confieren mayor capacidad de tensión al concreto. Es importante precisar que las losas fibroreforzadas no otorgan la capacidad suficiente de momento para las losas de construcción no apoyadas sobre suelo.

Losas reforzadas para prevenir la rotura mediante el control de contracción y temperatura: el concreto de estas losas tiene una compensación a la tensión inicial.Este tipo de losas son diseñadas para evitar las fisuras, sin embargo, pueden surgir algunas mínimas pero pequeñas en comparación a las fisuras ocasionadas por otros especímenes de losa, el refuerzo ubicado en el tercio superior limita la expansión inicial y pre-esfuerza el concreto.

Losa estructural: esta clase de losas permite transmitir esfuerzos y fuerzas verticales y laterales de otra parte de la estructura hacia el suelo.

3.2.2 Comparación de propiedades de las losas fibro-reforzadas frente a otro tipo de losas.

A continuación se presenta un cuadro que compara la losa fibro-reforzada frente a otros tipos de losa.

Tipo de losa Ítem	**Sin ningún refuerzo**	**Con refuerzo longitudinal**	**Fibro-reforzada**
Construcción	No requiere especialización de la mano de obra.	Ligera especialización.	Fácil construcción pero requiere especialización para la colocación y acabado.
Costo	Menor costo por instalación y diseño.	Mayor costo de instalación en comparación a losas sin refuerzo.	Mayor costo de instalación en comparación a losas sin refuerzo.
Refuerzo	No presenta	Requiere de refuerzo de un diámetro significativo en la parte superior de la losa.	Algunas fibras están expuestas en la superficie de la losa.
Deterioro y desnivelación	Se incrementa con el tiempo.	Genera grietas finas, cercanas y numerosas.	Mejor resistencia ante el impacto y la fatiga.
	Mayor ocurrencia de fisuras y ondas	Elimina los efectos de ondas en losas.	No es recomendable para suelos con humedad.
Pasajuntas	Es necesario tener pasajuntas con poco espaciamiento	La cantidad de pasajuntas puede ser eliminada si refuerzo es suficiente.	-
Geometría	Longitud limitada por problemas de fisuras y contracción.	No presenta problemas.	No presenta problemas.
Transferencia de carga positiva	Es necesaria.	Es necesaria	-
Mantenimiento	Continuo y costoso.	A largo plazo.	A largo plazo.

3.3 Apoyo del sistema de losas sobre el terreno

El diseño de las losas apoyadas sobre el suelo para resistir momentos y cortantes causados por las cargas aplicadas depende de la interacción entre la losa de concreto y el material de soporte.

3.3.1 Condiciones ingenieriles del lugar de colocación

La integridad estructural de las capas ubicadas por debajo de las losas apoyadas sobre el suelo es muy importante para poder asegurar la capacidad resistente y serviciabilidad a largo plazo de la losa.

Las fallas de las losas apoyadas sobre el suelo pueden ocurrir debido a que no se logró alcanzar un adecuado sistema de apoyo.

El apoyo de la subrasante debe ser razonablemente uniforme, no presentar cambios abruptos de duro a suave. La porción superior de la subrasante deberá ser de material y densidad uniforme.

Los suelos son considerados problemáticos cuando son altamente expansivos, altamente compresibles, o no proveen un apoyo razonablemente uniforme.

<u>Preparación del lugar</u>

Para construir una subrasante uniforme, se debe tener especial cuidado para asegurar una mínima variación de los apoyos en el área del piso, y que las siguientes causas más importantes de apoyo no uniforme sean identificadas y controladas:

- Suelos expansivos
- Terrenos duros y suaves
- Relleno impropio.

Suelos expansivos: Suelos que son lo suficientemente expansivos para causar una distorsión del suelo. Están clasificados por la ASTM Sistema de Clasificación Suelos.

Una contracción e hinchamiento anormal de grandes volúmenes de suelo crearán un apoyo no uniforme. Como resultado, el piso de concreto podría distorsionarse. La compactación de suelos altamente expansivos cuando éstos están muy secos puede contribuir a una expansión perjudicial y a un reblandecimiento de la subrasante ante un futuro humedecimiento. Si antes de colocar la losa de piso, el suelo expansivo de la subrasante está muy húmedo, el secado y la comprensión del suelo podrían dejar porciones de losa sin apoyo.

Terrenos duros y suaves: Si la subrasante provee un apoyo irregular, entonces la losa tenderá a deflectarse sobre los lugares suaves o duros del terreno. No se puede obtener un apoyo uniforme solo con verter material granular sobre los lugares suaves, las condiciones de humedad y densidad del suelo que está siendo colocado deberán ser lo más similares posibles al suelo adyacente.

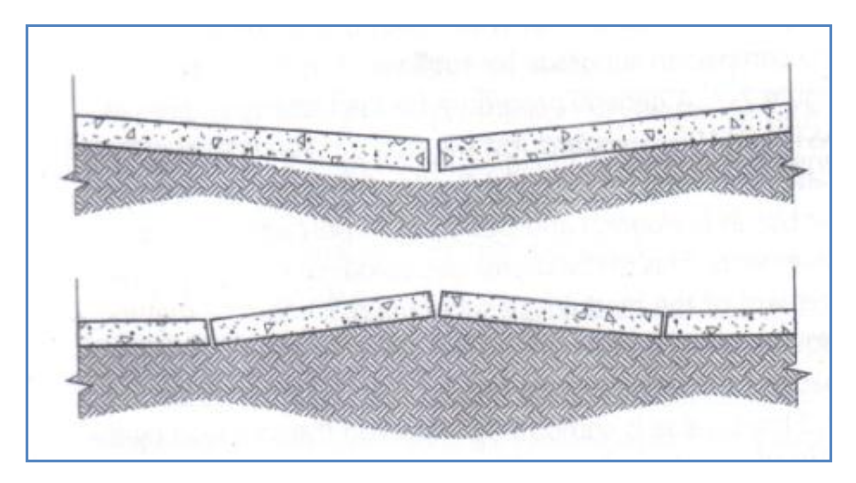


Figura5: Lugares blandos y duros
Fuente: Concrete FloorsonGrounds. PCA

Relleno impropio: Cualquier material añadido para mejorar la subrasante deberá poder ser compactado completamente. Los escombros de demoliciones de edificios o pavimentos deberán primero pasar por una demoledora para eliminar los restos de tamaños mayores que podrían causar daños en la compactación.

3.3.2 Reportes geotécnicos

Las investigaciones de la ingeniería geotécnica son ya comúnmente realizadas para la mayoría de los proyectos de edificaciones. La finalidad de estas investigaciones de campo es proveer información sobre el subsuelo y así poder proveer información para el diseño y construcción de la cimentación de los elementos de la edificación. Dentro de los reportes geotécnicos, el apoyo de este tipo de losas es frecuentemente discutido, y son dadas condiciones de drenaje y recomendaciones para la preparación lugar.

3.3.3 Módulo de Reacción de la Subrasante

Los materiales que se encuentran muy por debajo de la superficie tienen un efecto muy significativo en los asentamientos a largo plazo de la losa. Para un suelo cargado, el foco de presiones debajo de la carga extenderá su influencia hasta profundidades, posiblemente, mayores que la subrasante. Es por eso que existe una posibilidad de que los asentamientos a largo plazo sean mayores que las deflexiones elásticas calculadas como parte del diseño de las losas. Este efecto puede tener como consecuencia un asentamiento diferencial entre las zonas de la losa más cargadas y las menos cargadas, y además también influiría en la regularidad de la superficie del suelo.

Los materiales más cerca a la superficie tienen un mayor efecto sobre las propiedades medidas de la subrasante que los que se encuentran a una mayor profundidad. La propiedad de la subrasante más cercana a la superficie que se usa para el diseño por espesor de las losas, es el módulo de reacción de la subrasante, *k*.

Los valores elásticos de k no reflejan asentamientos a largo plazo debido a la consolidación del suelo bajo cargas. Sin embargo, valores bajos de *k* son un indicativo de comportamiento plástico de suelos cerca a la superficie. Es correcto usar este

factor para cargas de llantas y otras cargas concentradas ya que las presiones del suelo, debajo de la mayoría de losas de adecuado espesor, no son excesivas.

Si no se presentan condiciones adversas inusuales del suelo, el análisis de diseño requiere solo de la determinación de la resistencia de la subrasante, en términos de *k*.

El único método para medir directamente los valores de *k* es ensayo de carga de placa que se toman en subrasantes compactadas. Un procedimiento general el ensayo de carga es dado en el ASTM D1196, *Método de Ensayo Estándar para Carga de Placa No Repetitiva de Suelos y Componentes Flexibles de Pavimentos, para Uso en la Evaluación y Diseño de Pavimentos de Aeropuertos y Carreteras*. El método requiere usar una placa de 760mm de diámetro. La placa es cargada hasta una deflexión no mayor a 1.25mm y el valor de *k* es calculado dividiendo la carga unitaria por la deflexión obtenida. Este ensayo no es típicamente utilizado para la mayoría de proyectos de losas apoyadas sobre el suelo. En cambio, para la mayoría de este tipo de losas se utilizan los valores de reacción de la subrasante de la CBR (California Bearing Ratio).

El CBR es la relación entre la resistencia a la penetración desarrollada por el suelo de la subrasante, y el de un espécimen estándar de roca triturada. Este método ha sido desarrollado para pavimentos y no para losas apoyadas sobre el suelo para edificaciones. Sin embargo, estas correlaciones son ampliamente utilizadas para aproximar los valores de apoyo de la subrasante para el diseño y construcción de losas sobre el suelo.

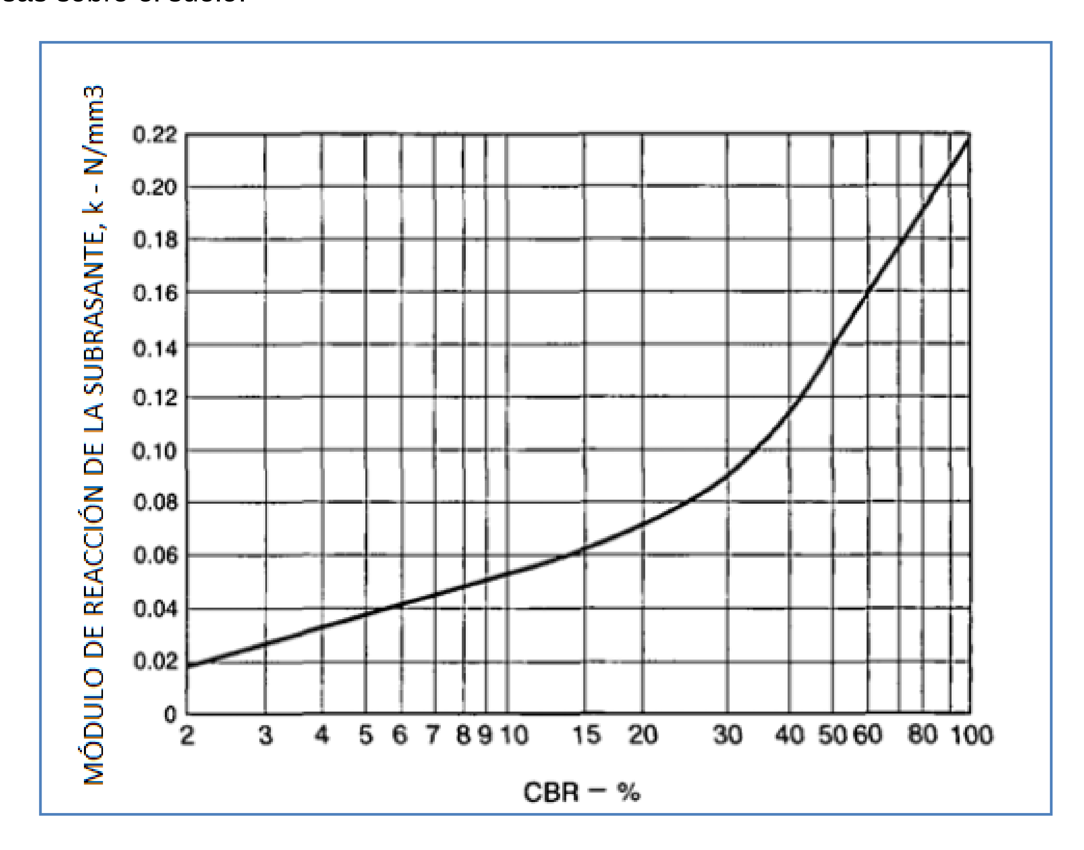


Figura6: Relación entre el módulo de reacción de la subrasante y el CBR in situ
Fuente: TR34 Concrete Industrial Ground Floors

3.3.4 Sub-bases

Una sub-base no es obligatoria para losas sobre el suelo. Éstas son generalmente omitidas cuando la subrasante es de buena calidad. La sub-base tiene tres propósitos principales:

- Proveer una plataforma de trabajo para la actividad de construcción.
- Proveer una formación a nivel para la construcción de la losa.
- Transmitir las cargas de la losa a la subrasante.

Su efecto en el apoyo de las losas y en el valor de *k* en general, depende del tipo y espesor del material de la base.

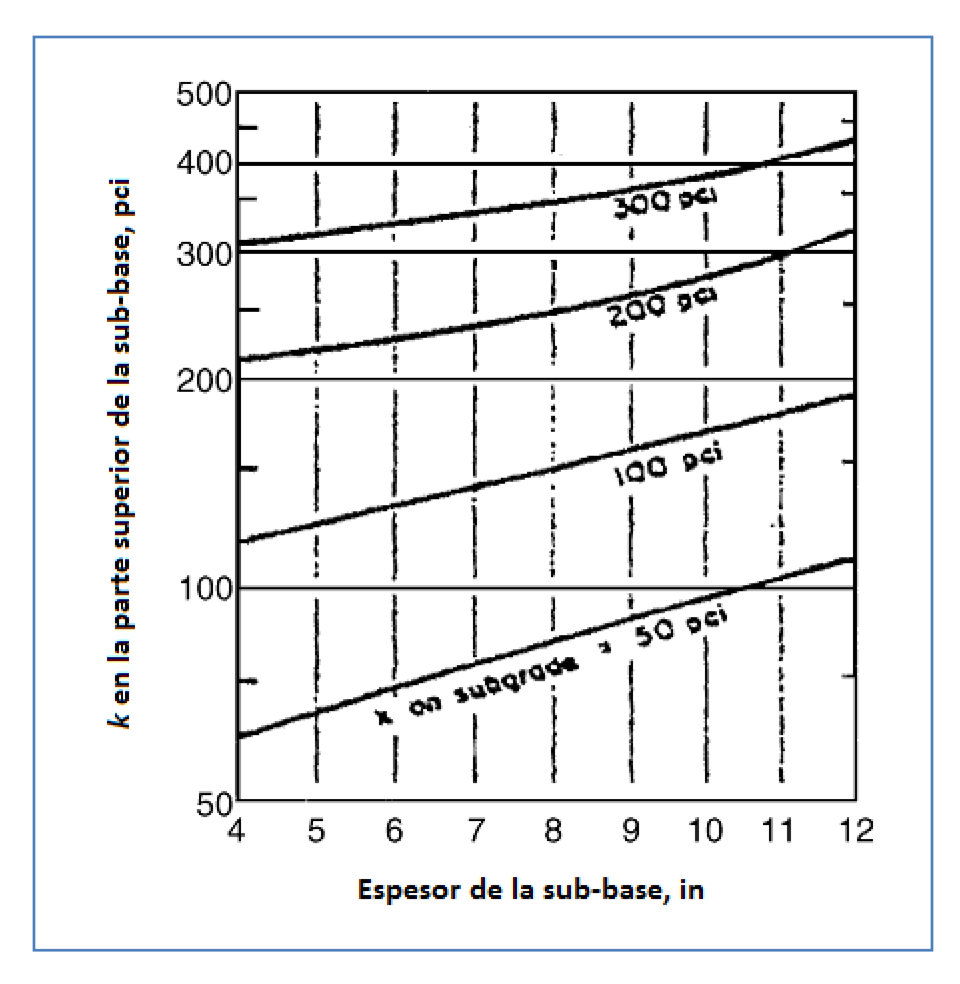


Figura7: Efecto de reacción de la sub-base en módulo de reacción de la subrasante
Fuente: TR34 Concrete Industrial Ground Floors

3.4 Tipos de carga

A continuación se proporcionará una guía general acerca de las fuerzas a las que están sometidas las losas de concreto apoyadas sobre terreno. Estas deben de ser diseñadas para la condición más crítica que resulte de las diferentes combinaciones de cargas, que probablemente estén presentes durante su ciclo de vida, también dependen del uso; por ejemplo, pavimentos industriales, pavimentos de aeropuertos y puertos, soportes de máquinas vibrantes entre otros.

3.4.1 Cargas vehiculares

Las variables principales a considerar para determinar el grosor de las losas de piso son las que se presentan a continuación:

- Especificaciones del vehículo (Área de contacto del neumático, carga por eje y distancia entre llantas)
- Volumen de tráfico de los distintos vehículos.
- Máxima carga por eje.
- Distancia entre las llantas cargadas.
- El volumen promedio diario de tráfico.

Es necesario conocer el número de repeticiones de fuerzas vehiculares porque permitirá que el diseñador tenga noción acerca de la fatiga generada o como en muchos casos, se planteará para un número ilimitado de repeticiones. También, es necesario obtener las condiciones vehiculares para el diseño del espaciamiento (sawcut) por contracción de las losas.

3.4.2 Cargas concentradas

Son representadas como cargas concentradas,las fuerzas aplicadas sobre una superficie de área pequeña. Pueden ser postes, o extensiones de maquinaria apoyadas sobre el piso que produzcan una fuerza de 180 Kn o más. Las variables que predominan en el diseño son las siguientes:

- Máxima carga representativa.
- Duración de la carga.
- Distancia entre poste y distancia de pasillos.
- Ubicación de la carga concentrada respecto a la ubicación de la junta.
- Área de contacto.

Los datos del rack deben ser proporcionados por el fabricante a fin de reducir los esfuerzos de flexión ocasionados por las cargas.

3.4.3 Cargas distribuidas

En muchos almacenes industriales hay grandes cantidades de material apilado sobre la losa fibro-reforzada, lo cual ocasiona esfuerzos de flexión. Es fundamental proyectarse para evitar el agrietamiento debido al asentamiento que pueda sufrir la losa. Se consideran las siguientes variables para el diseño:

- Máxima intensidad de carga.
- Duración de la carga.
- Dimensiones del área que soporta la carga.
- Ancho de pasillo.
- Ubicación de las juntas transversales y paralelas al pasillo.

3.4.4 Cargas lineales

Se considera como una carga lineal a una carga distribuida sobre un área estrecha y si su ancho es menor a un tercio de la rigidez de la losa; por ejemplo: muros, rollos de almacenamiento y cargas de partición.

Las variables a considerar son las siguientes:

- Máxima intensidad y duración de carga.
- Dimensiones del área que soporta la carga.
- Ancho de pasillo.
- Ubicación de las juntas paralelas al pasillo.
- Cantidad de transferencia de cizallamiento.

3.4.5 Cargas inusuales

Son cargas que no han sido mencionadas anteriormente y que difieren de la siguiente manera:

- Forma del área que soporta la carga.
- Carga distribuida a más de uno de los ejes.
- Más de dos o cuatro ruedas por eje.

Sin embargo, las variables de diseño son similares a los casos anteriores.

3.4.6 Factores ambientales

Los cambios en la gradiente de temperatura ocasionan esfuerzos internos de las losas fibroreforzadas debido a la expansión del suelo o cambios de humedad en la losa. Por ejemplo, se observa levantamiento de las losas de la sub-rasante. Por lo general, no se presentan en casos de losas cortas debido a la sub-rasante lisa y plana, cambios uniformes de temperatura y contracción.

Con frecuencia se recomienda que una losa mida de largo por lo menos treinta veces su espesor.

3.4.7 Factores de seguridad

El uso de factores de seguridad permite menguar las grietas y ondas para preservar la durabilidad de las losas, y la búsqueda de la mejor ubicación de las juntas para evitar el desnivel de estas y sobre todo permiten velar por la seguridad pública.

A continuación se muestra una lista de detalles que tiene en cuenta el diseñador para evitar fallas de servicio:

- Diseñar de manera que las fisuras y ondas sean pequeñas y manejables ante un posible mantenimiento, además, que no implique la pérdida del uso y que los costos de reparación no sean elevados.
- No exceder grandes longitudes de losas para evitar el fenómeno de contracción del concreto.
- Características del suelo; humedad del suelo, homogeneidad de la sub-rasante, investigación geotécnica.
- Efectos de impacto de cargas y materiales.
- Frecuencia de carga.

Los factores de seguridad oscilan desde 1.7 a 2, esta determinación dependerá del uso y las condiciones de construcción.

3.5 Juntas:

Las juntas permiten quela losa se desplace ligeramente y que se obtenga como resultado una losa con una apariencia libre de grietas. Porque de lo contrario, si el movimiento fuese restringido, la losa se agrietaría cuando se exceda los esfuerzos de la losa. Entonces lo que se hace es, inducir la zona por donde debe de agrietarse.

La cantidad y tipo de juntar a usar, dependerá del método de construcción a usar y su diseño.

Se recomienda en general que, la proporción entre la longitud y el ancho de la losa formada por las juntas debe ser de 1.5, y que la máxima separación entre las juntas debe ser de 6m, evitar bordes reentrantes, esquinas con ángulos agudos y evitar situar cargas puntuales sobre las juntas.

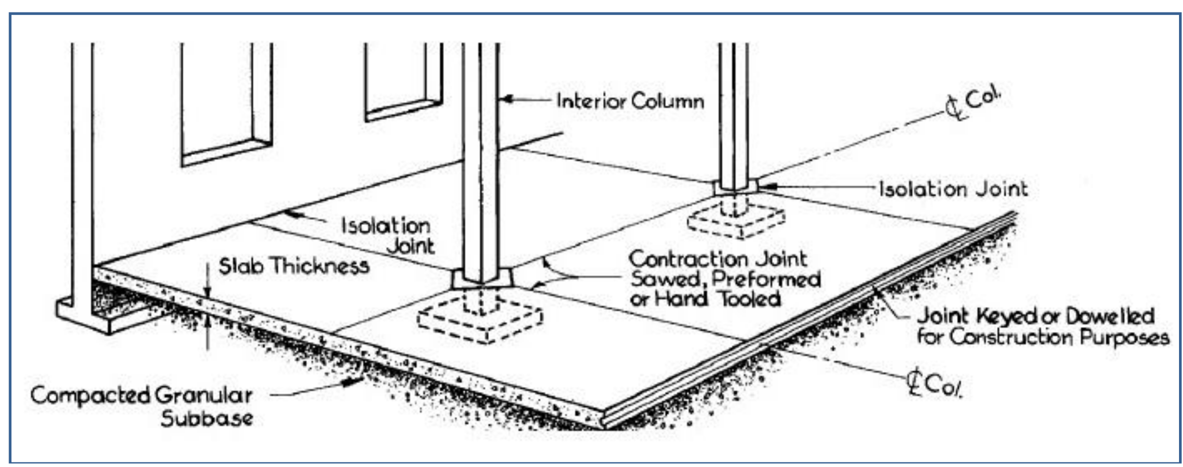


Figura 8: Adaptada de ACI 224.3R - 95

El desplazamiento de la losa se debe a ciertos factores, tales como son:

- Contracción del concreto
- Cambios de temperatura
- Esfuerzos de flexión debido a cargas aplicadas

3.5.1 Tipos:

Hay tres tipos de juntas en una losa, ellos son juntas de contracción, de construcción y juntas aisladas. A continuación se detalla cada una de ellas.

3.5.1.1. *Juntas de Contracción*

Se opta por este tipo de juntas en losas donde se busca reducir la deformación de la losa y aliviar la tensión interna.

La deformación de la losa se da cuando la losa es sometida al ambiente y la superficie superior seca antes de que la inferior. Dicha deformación puede ser controlada o reducida con un adecuado espaciamiento de las juntas de contracción, uso de dowells y refuerzo bien distribuido.

Las juntas de contracción deben ser usadas en losas con nivel variable de la rasante. Y deben estar espaciadas de tal manera que subdividan a la losa en pequeñas áreas en forma cuadradas.

Las juntas de contracción, se subdividen a su vez en dos tipos particulares, juntas cortadas y pre formadas.

3.5.1.1.1. Juntas cortadas

Es uno de los métodos más comunes y consiste en cortar la losa de acuerdo a la secuencia de vaciado del concreto. Este es un método usado debido al método de diseño usado, espesor de la losa, tipo, cantidad y locación del refuerzo, contracción del concreto, calidad del concreto, entre otros.

Este tipo de juntas son usualmente colocados a distancias iguales con respecto al perímetro de las columnas.

Tener en consideración que este tipo de juntas deben ser continuas a lo largo de las demás juntas, el ratio de las dimensiones de la sección creada entre las juntas debe ser entre 1 a 1.5, y por último no es recomendable insertar plástico o metal para crear la junta en una losa que vaya a ser sometida a tráfico de autos.

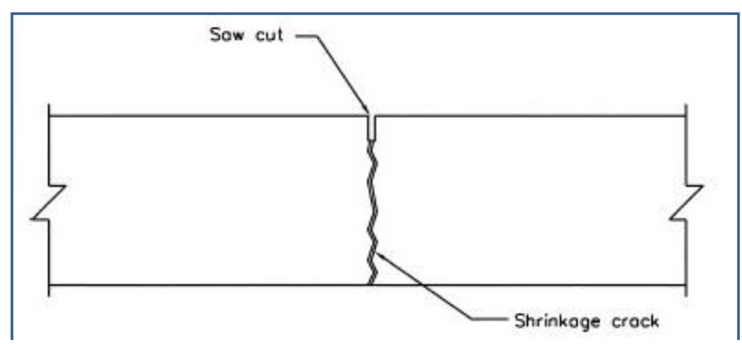


Figura 9: Adaptada de ACI 360R-06

3.5.1.1.2. Juntas pre formadas

Este tipo de juntas se forman en la losa de acuerdo a la profundidad requerida o insertando plástico o tiras de madera en la cara superior de la losa, cuando esta es delgada.

3.5.1.1.3. Transferencia de cargas

Debido a que las juntas de contracción dividen a la losa en pequeñas losas, dichas juntas deben ser capaces de transferir cargas verticales de una losa a otra. Esta transferencia se da por medio de tres mecanismos como son:interacción de agregados, juntas ensambladas y dowells.

A. Interacción de los agregados

La efectividad de este mecanismo depende de varios factores tales como ancho de la fisura, presencia de refuerzo a lo largo de la fisura, espesor de la losa, condiciones de carga, forma del agregado, entre otros.

Adicionalmente, la magnitud, el tipo de carga y la sub rasante son los factores más importantes para determinar la efectividad de este mecanismo, puesto que cargas dinámicas repetitivas pueden causar la fractura del agregado y eventualmente la pérdida de la transferencia de carga.

Es recomendado que el ancho de la fisura debe ser menor de 0.9mm para que la transferencia de cargas sea efectiva, y el espaciamiento entre juntas debe ser como máximo 4.5m.

B. Juntas ensambladas

Las juntas ensambladas permiten movimiento horizontal y transferencia de cargas verticales. Se dan por la inserción de un elemento pre formado a lo largo de todo el espesor de la losa, durante la etapa del vaciado del concreto.

Se introduce un *bulkhead,* amanera que se forme un mecanismo de macho y hembra en la junta una vez que el concreto haya sido vaciado en ambos lados de la junta.

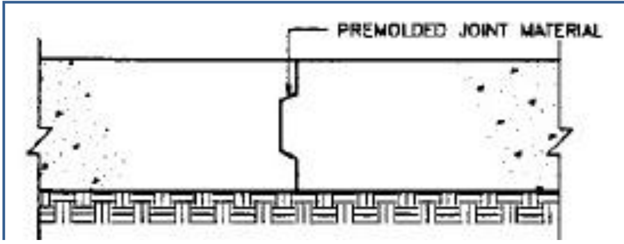


Figura 10: Adaptada de ACI 224.3R - 95

El material del pre formado puede ser tiras de madera o de metal.

ACI recomienda que este tipo de juntas deba ser usado para losas de espesor mayor a 150mm. Y a su vez, no se recomienda ser usado para transferir cargas pesadas, puesto que los componentes pueden perder contacto.

C. Dowells

Este mecanismo es recomendado para losas que resistirán cargas pesadas con un alto porcentaje de refuerzo para control de fisuras.

Para que los dowells sean efectivos deben tener la superficie suave y estar paralelos unos a otros y a la vez a la superficie de la losa. Adicionalmente, éstas deben estar centradas en el espesor de la losa; y para permitir el desplazamiento horizontal, no debe estar unido a la losa en uno de los lados de la junta.

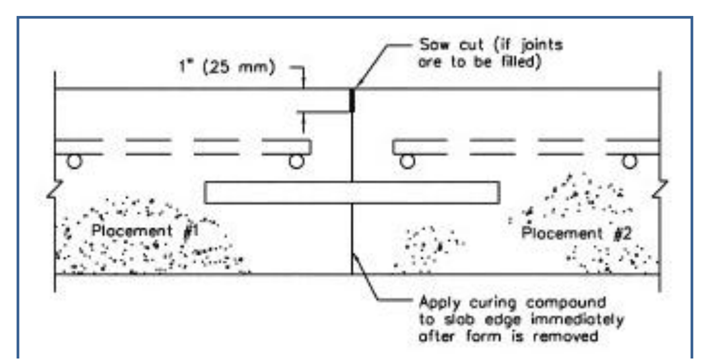


Figura 11: Adaptada de ACI 360R-06

3.5.1.2. *Juntas aisladas*

Las juntas aisladas o también conocidas como juntas de expansión, permiten el desplazamiento horizontal y vertical entre la losa y los elementos estructurales adyacentes tales como columnas, muros, máquinas y otros. De esta manera se evita que la losa se fisure, debido a que no está unido a otros elementos y puede desplazarse.

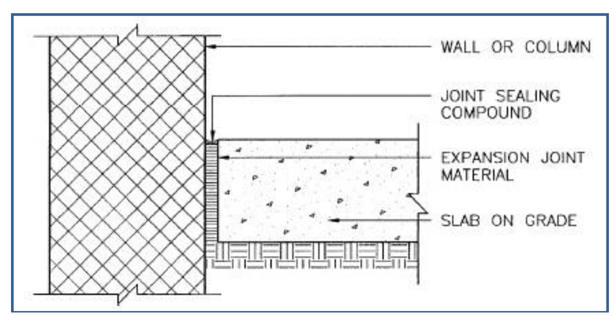


Figura 12: Adaptada de ACI 224.3R - 95

A pesar que la expansión del concreto es menor en términos de desplazamiento comparado con la contracción inicial que sufre el concreto, es recomendado tomar en cuenta este tipo de juntas.

El material usado para llenar la junta debe permitir el desplazamiento horizontal y vertical de la losa.

En un tipo de junta de expansión circular, se evita que en las esquinas se centre la mayor deformación; y cuando se da una junta cuadrada, éstas usualmente son rotadas.

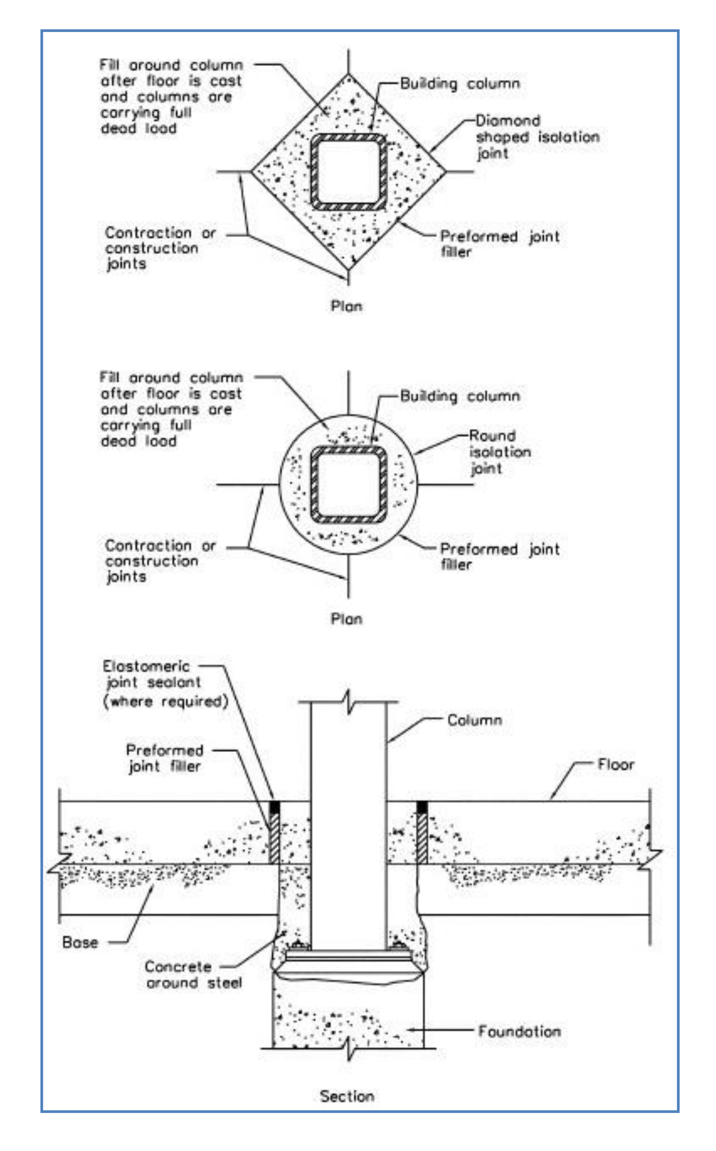


Figura 13: Adaptada de ACI 360R-06

3.5.1.3. *Juntas de Construcción*

Son formadas en la losa cuando el proceso de vaciado ha culminado, por ende el tipo y el layout debe ser determinado con anterioridad a manera que coincida con las juntas aisladas y las de contracción.

Las juntas de construcción pueden ser de madera, metal o prefabricado de concreto. Con respecto a su colocación, deben estar colocados a cierta altura y con adecuado soporte para mantenerlas rectas y firmes durante el proceso de vaciado.

El concreto que lleve este tipo de juntas debe ser necesariamente vibrado en intervalos frecuentes para una adecuada consolidación con las juntas.

Los tipos de juntas de construcción son los siguientes:

A. Juntas de unión

Las juntas de unión deben ser usadas cuando las operaciones de vaciado de concreto son interrumpidas y se llega a alcanzar el tiempo necesario para que el

concreto se endurezca. Adicionalmente, se recomienda su uso en áreas que serán sometidas al paso de vehículos y cargas pesadas.

Para losas sin refuerzo, se recomienda usar barras que crucen la junta, de un largo aproximado de 750mm espaciados a 750mm.

B. Juntas a tope

Son recomendadas en zonas donde no hay tráfico.

3.5.2 Protección de juntas:

El objetivo de proteger las juntas es la de mejorar su rendimiento y asegurar una adecuada transferencia de cargas. El sellado, previene que el agua ingrese en la junta y cause deterioro al congelarse, corroer el refuerzo o dañar la sub rasante.

Para áreas que serán sometidas a tráfico, ACI recomienda que las juntas deban ser protegidas con un material que permita la continuidad de la superficie o colocar en los bordes ángulos de acero. En cuanto a los materiales adecuados se recomienda epóxico, material que es capaz de brindar un adecuado soporte y resistencia al uso.

Las juntas de construcción y las cortadas que no son estables, no retienen ningún tipo de relleno para usos de tráfico. Sin embargo, para condiciones de humedad y de polvo, las juntas pueden ser rellenas de material elastomérico.

3.6 Procedimiento de diseño

3.6.1 Diseño de losas rígidas fibroreforzadas

Para dimensionar el espesor de la losa, se hará uso de tres métodos en los cuales se asume, para fines de diseño, que el hormigón no posee refuerzo y se usará su capacidad resistente a flexión o Módulo de Rotura, como también se le conoce. Adicionalmente se utilizará el diseño basado en el TR34, que considera los estados límites últimos.

3.6.1.1 Método Británico(Método del Reporte Técnico de la Sociedad del Concreto N° 34)

Este método considera la redistribución de momentos y la formación de rótulas plásticas en la losa. Estas regiones de las rótulas plásticas se desarrollan en puntos de máximos momentos y ocasionan un cambio en el diagrama de momento elástico.

Meyerhof (1962) usó el análisis del esfuerzo último de las losas basado en un análisis plástico y obtuvo fórmulas de diseño para una sola carga interna, al borde y en esquina. Él también consideró cargas combinadas.

Para desarrollar la teoría del diseño, se necesitan tener en claro ciertas propiedades del concreto tales como:

- Resistencia a la compresión en molde cúbico (f_{cu})
- Resistencia a la compresión en molde cilíndrico (f_{ck})
- Resistencia a la compresión media en molde cilíndrico (f_{cm})

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

- Resistencia a la tracción axial media (f_{ctm})

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{\frac{2}{3}}$$

- Resistencia a la tracción axial ($f_{ctk(0.05}$)

$$f_{ctk(0.05)} = 0.7 f_{ctm}$$

- Módulo de elasticidad (E_m)

$$E_{cm} = 22\left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3}$$

- Resistencia a flexión de concreto plano ($f_{ctk,fl}$)

$$f_{ctk,fl} = \left[1 + \frac{200^{0.5}}{h}\right] f_{ctk(0.05)} \leq 2 f_{ctk(0.05)}$$

Donde: h = espesor total de losa (mm)

En la siguiente tabla, se presenta los valores para cada uno de los parámetros arriba mencionados, en las unidades que se usan en las ecuaciones que se aplicarán más adelante y las unidades convencionales usadas en Perú (kg/cm^2).

	N/mm^2	kg/cm^2	N/mm^2	kg/cm^2	N/mm^2	kg/cm^2	N/mm^2	kg/cm^2	N/mm^2	kg/cm^2	N/mm^2	kg/cm^2
f_{cu}	20.60	210	24.03	245	25.00	254.8	27.47	280.0	28.00	285.4	32.00	326.2
f_{cm}	28.60	-	32.03	-	33.00	-	35.47	-	36.00	-	40.00	-
f_{ctm}	2.25	-	2.50	-	2.56	-	2.73	-	2.77	-	3.02	-
$f_{ctk\ (0.05)}$	1.58	-	1.75	-	1.80	-	1.91	-	1.94	-	2.12	-
E_{cm}	30.15	-	31.20	-	31.48	-	32.16	-	32.31	-	33.35	-

Tabla 3: Adaptada de Concrete SocietyTechnicalReport No.34

Adicionalmente, para los demás elementos como la fibra de acero y parámetros del terreno que recibirá la losa, se tiene:

- Fibra de acero para refuerzo de concreto

La resistencia equivalente a la flexión o $R_{e,3}$ para concreto fibroreforzado depende del tipo de fibra y de la dosificación de la misma. Este valor es hallado experimentalmente.



- Modulo de reacción de la subrasante (k)

La sub base es asumida para comportarse como un medio elástico cuya elasticidad puede ser caracterizada por una fuerza que distribuida sobre un área unitaria producirá una deflexión equivalente a la unidad. Westegaard nombró a esta característica del suelo como Módulo de reacción de la sub base.

En otras palabras, es la carga por unidad de área que causa deflexión y se expresa en unidades (N/mm^3)

- Radio de rigidez relativa (l)

El momento flector bajo una carga concentrada llega a un valor máximo y negativo directamente debajo de la carga. A lo largo de la línea radial, el momento positivo disminuye a cero a una distancia de 1.0L desde la carga. Luego el momento toma valor negativo y su máximo es a una distancia 2.0L de la carga. El momento se aproxima a cero a 3.0L de la carga.

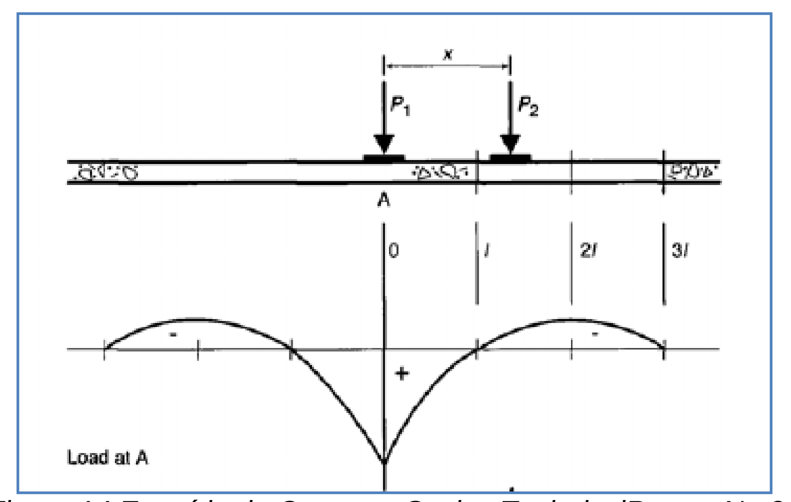


Figura 14:Extraída de Concrete SocietyTechnicalReport No.34

Para hallar numéricamente el radio de rigidez relativa:

$$l = \left[\frac{E_{cm}h^3}{12(1-\nu^2)k}\right]^{0.25}$$

3.6.1.1.1 Método "Yield Line Theory"

a) Diseño por capacidad para momentos

Para el diseño por capacidad, se tiene diferentes consideraciones de acuerdo al tipo de fibra en la losa, para nuestro caso de desarrollará el de fibras de acero.

La ductilidad de un concreto reforzado con fibras está caracterizada por su resistencia equivalente a la flexión R_{e3}. Esto provee una capacidad residual de momento flector positivo, Mp, como sigue:

$$Mp = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c}(R_{e,3})\left(\frac{h^2}{6}\right)$$

Se ha determinado experimentalmente, que la dosificación de fibras deberá ser la suficiente para dar un valor de R_{e3}, de al menos, 0.3. De lo contrario, el concreto deberá ser tratado como losa.

Aunque las fibras aumentan la ductilidad, éstas no afectan el agrietamiento por tracción, ya que no aumentan la capacidad del momento flector negativo, Mn, por lo que se utilizará la siguiente expresión:

$$Mn = \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c}\left(\frac{h^2}{6}\right)$$

b) Ecuaciones de Diseño:

La norma Británica considera tres tipos de posiciones de carga:

- Interno, cuando el centro de la carga está situado a una distancia de más de (l + a) del borde, como se muestra en la imagen de abajo.
- En borde, cuando el centro de la carga está situado en el borde a una distancia de más de (l +a), como se muestra en la imagen de abajo.
- En esquina, cuando el centro de la carga está situado a una distancia “a” del borde, como se muestra en la imagen de abajo.

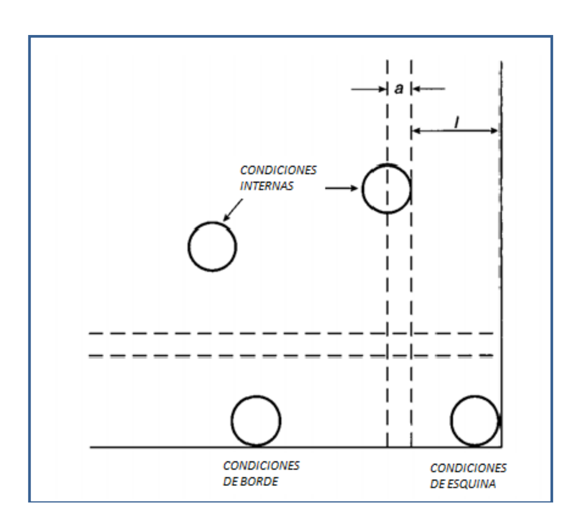


Figura15: Definición de ubicaciones de las cargas.
Fuente: Technical Report 34 Concrete Industrial Ground Floors

Donde:
- a = Radio equivalente de contacto de la carga
- l = radio de rigidez relativa

b.1. <u>Cargas Puntuales</u>

b.1.1 Una sola carga

Las siguientes ecuaciones fueron tomadas del documento de Meyerhof

b.1.1.1. Para una carga interna:

- a/l = 0:

$$Pu = 2\pi(M_p + M_n)$$

- a/l >0.2:

$$Pu = \frac{4\pi(M_p + M_n)}{\left[1 - \frac{a}{3l}\right]}$$

b.1.1.2 Para una carga de borde:

- a/l = 0:

$$Pu = [\pi(M_p + M_n)/2] + 2M_n$$

- a/l >0.2:

$$Pu = \frac{[\pi(M_p + M_n) + 4M_n]}{\left[1 - \frac{2a}{3l}\right]}$$

b.1.1.3 Para una carga de esquina:

- a/l = 0:

$$Pu = 2M_n$$

- a/l >0.2:

$$Pu = \frac{4.0M_n}{\left[1 - \left(\frac{a}{l}\right)\right]}$$

b.1.2 Cargas en dos puntos:

Las siguientes ecuaciones son usadas para cargas internas combinadas.

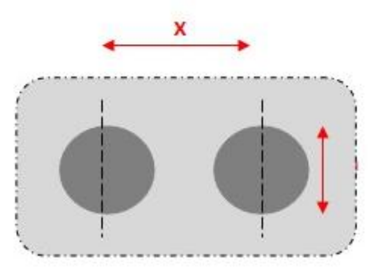


Figura 16: Fuente propia

Como se muestra en la imagen anterior, el espaciamiento entre las líneas centrales “x” es menor que el doble del espesor de la losa.

- a/l = 0:

$$Pu = \left[2\pi + \left(\frac{1.8x}{l}\right)\right][M_p + M_n]$$

- a/l >0.2:

$$Pu = \left[\frac{4\pi}{1 - \frac{a}{3l}} + \frac{1.8x}{l - \frac{a}{2}}\right][M_p + M_n]$$

b.1.3. Cargas en cuatro puntos

Como se muestra en la imagen inferior, en este caso ya se cuenta con dos distancias de separación entre los centros “x” e “y”. Lacarga total de colapso está dada por la suma de las cargas puntuales.

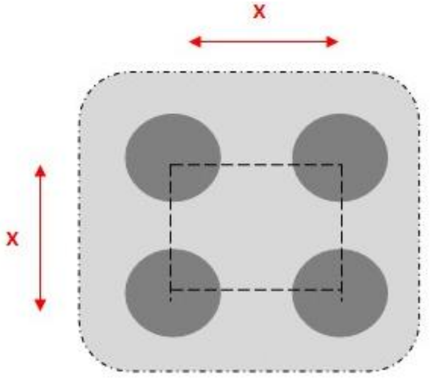


Figura 16b:Fuente propia

- a/l = 0:

$$Pu = \left[2\pi + (\frac{1.8(x+y)}{l}\right]\left[M_p + M_n\right]$$

- a/l >0.2:

$$Pu = \left[\frac{4\pi}{1-\frac{a}{3l}} + \frac{1.8(x+y)}{l-\frac{a}{2}}\right]\left[M_p + M_n\right]$$

Cabe resaltar que, Meyerhof no ha especificado ecuaciones para cargas duales que actúan en borde en losa.

b.2. Carga distribuida:

Para poder desarrollar esta parte, se ha introducido un nuevo término (π/2λ) conocido como “ancho crítico” y se refiere a la longitud donde el máximo momento positivo se desarrolla; y el máximo negativo es inducido entre una distancia (π/λ) separado por (π/2λ), como se muestra en la figura.

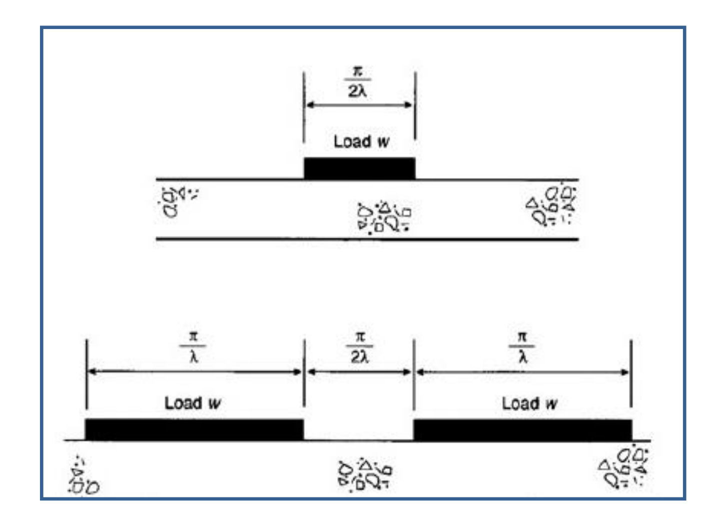


Figura 17:Extraída de Concrete SocietyTechnicalReport No.34



Entonces, la capacidad de carga por unidad de área, es el mínimo valor numérico de los dos siguientes:

$$w = \frac{1}{0.161}\lambda^2 M_p y w = \frac{1}{0.161}\lambda^2 M_n$$

Si la posición de la carga está definida, Hetenyi demostró que el momento positivo inducido bajo una carga de ancho “2c” está dado por la siguiente relación:

$$M_p = \frac{w}{2\lambda^2}(B_{\lambda c})$$

Donde: $B_{\lambda c} = e^{-\lambda c} Sen(\lambda c)$

$$e = 2.7182$$

Entonces:

$$w = \frac{2}{(B_{\lambda c})}\lambda^2 M_p$$

3.6.1.1.2 Cálculo de los mecanismos de transferencia de carga:

Se analizará la transferencia de cargas a través de los dowels.

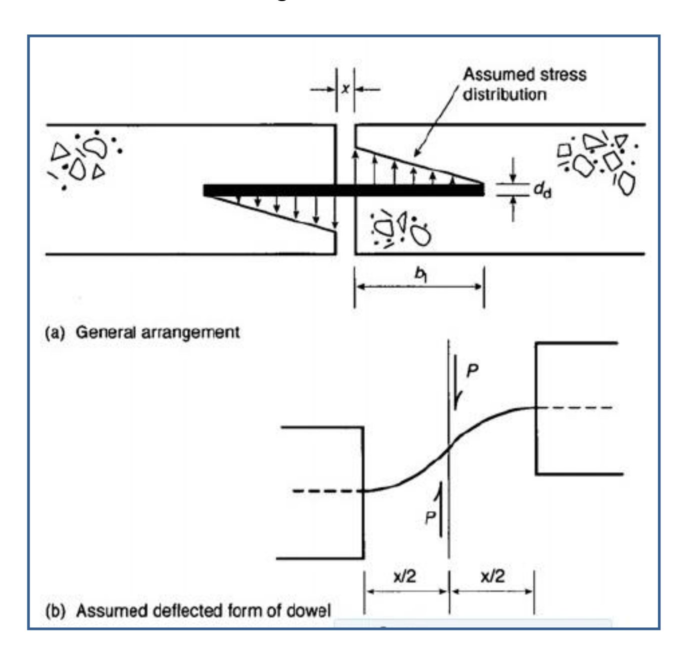


Figura 18:Extraída de Concrete SocietyTechnicalReport No.34

La capacidad del mecanismo de transferencia de carga, debe desarrollarse a lo largo de toda la junta; entonces se espera que éste deba ser capaz de resistir 20% de la carga. Con lo cual al hacer el análisis numérico, se reduce la capacidad de carga de la losa.

3.6.1.1.3 Punzonamiento:

Puede ser determinado usando dos criterios: el primero es considerando el cortante a la cara del área de contacto, y en el segundo es en el perímetro crítico a una distancia de “2d” de la cara de área de contacto, donde “d” es la profundidad efectiva.

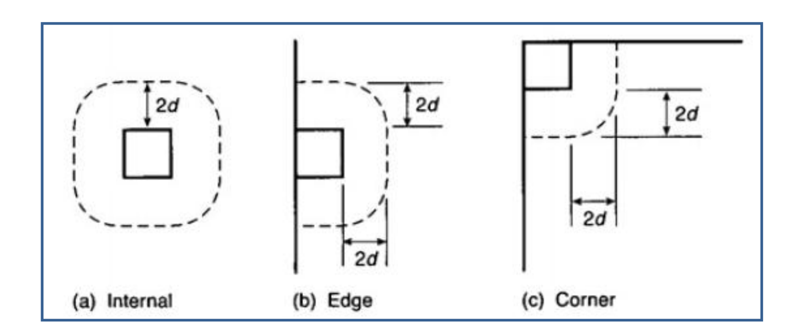


Figura 19:Extraída de Concrete SocietyTechnicalReport No.34

Para efectos prácticos, se considera d=0.75h, donde “h” es la profundidad total de la losa.

A) Cortante a la cara del área de carga

$$v_{max} = 0.5k_2 f_{cd}$$

Donde:

- f_{cd} : resistencia a la compresión de diseño del concreto en probeta cilíndrica (f_{ck}/γ_c)
- $k_2 = 0.6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$
- f_{ck}: resistencia característica a la compresión del concreto en una probeta cilíndrica

Entonces, la capacidad máxima de carga por Punzonamiento está dada por la siguiente relación:

$$P_{p,max} = v_{max} u_o d$$

Donde:u_0 : Perímetro a la cara del área de carga.

B) Cortante en el perímetro crítico

El esfuerzo cortante se verificará en el perímetro crítico a una distancia de “2d” de la cara de área de contacto.

Para el caso específico de refuerzo con fibras de acero, el esfuerzo cortante está dado por la siguiente relación:

$$v_f = 0.12 Re_{e,3} f_{ctk,fl}$$

Donde: Re,3: resistencia equivalente a la flexión

$f_{ctk,fl}$: resistencia característica a la flexión

Entonces, la capacidad de carga de la losa esta dado por la siguiente relación:

$$P_p = \left(0.035k_1^{3/2} + 0.12R_{e,3}f_{ctk,fl}\right)u_1 d$$

3.6.1.2 Método del PCA

Existen muchas similitudes entre un pavimento no reforzado y una losa de piso de concreto simple. Inicialmente, la teoría del diseño de pavimentos fue usada para generar tablas de diseño de espesor para pisos sobre el suelo. (Packard 1976)

Al igual que en el diseño de pavimentos, los factores que intervienen en la determinación del espesor de losa de piso son:

- Módulo de reacción de la subrasante.
- Resistencia del concreto.
- Condición de borde de la losa (eficiencia de transferencia de carga en junta- LTE).
- Ubicación y frecuencia de las cargas impuestas.
- Magnitud de la carga.

Los valores asumidos para desarrollar las tablas que se usarán en este método son: Módulo de Elasticidad (4000000psi ó 28000 MPa) y coeficiente de Poisson (0.15).

Objetivos del diseño: Un inadecuado dimensionamiento de la losa puede conducir a la fatiga debido a excesivas cargas, y se manifiesta por excesivo agrietamiento debido a un excesivo esfuerzo de flexión, deflexiones excesivas, asentamiento debido a presiones de suelo excesivas. Una de las formas más comunes de agotamiento observado en losas industriales es el desprendimiento de juntas. Cuando está sujeto a tráfico pesado, las juntas de la losa se fragmentarán y desprenderán si los bordes no están apropiadamente sujetados. Ya que esto causa un incremento del desgaste en los vehículos, minimizar el riesgo del desprendimiento es considerado un objetivo primario de diseño.

Esfuerzos de flexión y factores de diseño: La flexión es un criterio de diseño crítico y dominante porque se relaciona directamente con todo el comportamiento estructural de los pisos bajo cargas impuestas. La resistencia a la flexión puede ser medida utilizando el módulo de ruptura del concreto, MR. Por otra parte, el esfuerzo de compresión está más relacionado con el comportamiento solo del material (concreto).

Uno de los pasos preliminares para el diseño del espesor de las losas de concreto es determinar los esfuerzos de flexión del concreto a ser usados en el proyecto. El esfuerzo de flexión admisible en una losa se determina dividiendo la resistencia a la flexión del concreto entre los factores de diseño apropiados para el uso de la losa y tipo de diseño. Los factores de diseño incluyen el Factor de Seguridad (SF) tradicionalmente utilizado en el diseño de losas que toman en cuenta los

esfuerzos de flexión inducidos por la carga, y la fatiga; así como el Factor de Junta (JF) desarrollado para tomar en cuenta el incremento de los esfuerzos inducidos por la carga en las juntas.

Los esfuerzos de flexión indicados en las tablas originales de diseño son los que se encuentran en el interior de la losa, asumiendo que la carga es aplicada a cierta distancia de cualquier junta. Sin embargo, cuando la carga es aplicada en las juntas, los esfuerzos resultantes pueden ser significativamente mayores. Para losas de apropiado espesor, las juntas son consideradas los puntos más débiles. Mientras las losas son cargadas, se deflactan. Si esta carga está posicionada cerca a una junta, la deflexión se incrementa. El valor de la deflexión (y correspondiente esfuerzo de flexión) depende de la eficiencia de transferencia de carga (LTE) a través de la junta o grieta. Cuando la transferencia de carga ocurre a través de las juntas, ya sea por dovelas o por la interacción de los agregados(aggregateinterlock), los esfuerzos de flexión en los bordes son reducidos. La cantidad de reducción de los esfuerzos depende de la cantidad de LTE provisto.

Cuando sea necesario, el esfuerzo actuante (esfuerzo admisible, determinado dividiendo el esfuerzo de flexión por un adecuado factor de seguridad) se puede reducir aún más dividiéndolo entre un apropiado factor de junta. Al reducir el esfuerzo actuante, el espesor de losa es incrementado para mantener la misma serviciabilidad cuando menos del 100% del LTE es provisto en las juntas sujetas a las cargas repetitivas. Cuando las dovelas están apropiadamente posicionadas en las juntas, y el concreto está bien consolidado alrededor del acero, se provee una adecuada transferencia de carga y el factor de junta (JF) se convierte en 1.0. Esta condición particular, que no tiene ningún efecto en el espesor requerido, está basada en esfuerzos interiores lejos de las juntas.

Con un LTE de cero, cuando carga de borde libre es anticipada y no hay transferencia de carga presente, se debería usar un Factor de Junta de 1.6.Como una referencia general, los siguientes factores de junta se deberán considerar cuando la transferencia de carga por la unión de los agregados es requerida:

FACTORES DE JUNTA (JF)	TIPO DE MEZCLA	ESPACIAMIENTO
1.1 - 1.2	Mezclas de concreto de baja resistencia	Adecuado espaciamiento de juntas (máximo de 24 a 30 veces el espesor de la losa, sin superar los 4.5m) y aserrado temprano.
1.3 - 1.5	Mezclas típicas de concreto	Espaciamiento de juntas entre 30 a 33 veces el espesor de la losa
1.6	Mezclas de concreto de alta contracción	Espaciamiento entre juntas supera en 33 veces el espesor de la losa

Tabla 4: Valores de Factores de Junta

- Cargas Vehiculares: Las losas sobre el terreno están sujetas a varios tipos, tamaños y magnitudes de cargas de ruedas. El procedimiento de diseño incluye la determinación de varios factores de diseño específicos:

  - Máxima carga por eje,
  - Número de repeticiones de carga,
  - Área de contacto de la llanta,
  - Espaciamiento entre llantas del eje más pesado,
  - Módulo de reacción de la subrasante,
  - Resistencia a la flexión del concreto,
  - Factor de seguridad,
  - Transferencia de carga en las juntas – Factor de Junta.

Cuando el espaciamiento entre juntas excede de 4.5m, se deben considerar las dovelas para la transferencia de carga en las juntas. Se debe considerar que si el espesor de la losa calculado está basado en la transferencia de carga por dovelas, es posible que las grietas en la losa reduzcan la capacidad de soportar carga. Esto es particularmente cierto donde no se ubican las dovelas, ya que los bordes de la losa pueden no ser capaces de soportar las cargas debido al reducido espesor de la losa.

Para losas de piso, el factor de seguridad es la relación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura) y el esfuerzo de flexión actuante. Se podría considerar como la relación de la capacidad total disponible antes de que ocurra la falla, y la cantidad de resistencia requerida. La inversa del factor de seguridad es la razón de esfuerzo. En estudios de fatiga, los valores de la razón de esfuerzos están relacionados con las repeticiones de carga permisibles.

El PCA encontró que, mientras la razón de esfuerzos se mantenga menor a 0.45, el concreto puede soportar un ilimitado número de repeticiones de carga sin que se dé el agrietamiento por fatiga. Una razón de esfuerzos de 0.45 es equivalente a un factor de seguridad de 2.2. Para razón de esfuerzos mayores a 0.45 (FS menor a 2.2), el PCA desarrolló ecuaciones de fatiga para calcular el número disponible de repeticiones antes de que ocurra la falla por fatiga.

$SR > 0.55$	$Log10(N) = (0.97187 - SR)/0.0828$
$0.45 \leq SR \leq 0.55$	$N = (4.2577/(SR - 0.43248))^{3.268}$
$SR < 0.45$	N = ilimitado

Tabla 5: Expresiones para calcular el número permisible de repeticiones de carga

Figura 20. Tabla de diseño para ejes simples asumiendo transferencia total de carga en las juntas
Fuente: Adaptado de Concrete FloorsonGround. PCA

- Cargas concentradas: En muchos edificios industriales y almacenes, los racks son utilizados para almacenar productos o materiales. Si las cargas del rack son muy pesadas, los patas que soportan el rack inducen esfuerzos significativos en la losa del suelo. Este tipo de carga puede ser más severa que las cargas de las ruedas. Generalmente la flexión controla el espesor de las losas de concreto.

Para este tipo de carga, el objetivo del diseño es mantener los esfuerzos de flexión de la losa entre límites seguros. Cuando los requerimientos de flexión son satisfechos con un adecuado espesor de losa, la presión del suelo no es excesiva; y cuando se usa una placa base de tamaño apropiado, la resistencia del concreto y los esfuerzos cortantes no son excesivos.

Los factores de diseño utilizados son similares a los de las cargas vehiculares, los específicos factores de diseño son:

- Área de contacto de la carga
- Máxima carga de apoyos
- Espaciamiento entre apoyos
- Módulo de reacción de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto
- Factor de seguridad.

Si dos apoyos se acercan lo suficiente como para que su placa base se toque o superponga (como los racks de espalda con espalda), los apoyos pueden asumirse que actúan como una carga equivalente o la suma de sus cargas combinadas.

Los factores de seguridad específicos a ser utilizados serán dejados a criterio del ingeniero diseñador, que tomará en cuenta lo siguiente:

- El rango posible de factores de seguridad: Puede ser relativamente bajo (1.5 o menos bajo condiciones de carga no críticas), o bastante elevados (alrededor de 5 en situaciones donde las consecuencias de la falla de la losa sean muy serias).
- Experiencia del funcionamiento e información experimental para cargas estáticas concentradas no están disponibles.

- Cargas uniformes: Este tipo de cargas actúan sobre largas áreas de un piso, las cuales son principalmente el resultado de la colocación de materiales directamente sobre el suelo en almacenes. Estas cargas no le ocasionan esfuerzos tan grandes a la losa de concreto como las cargas concentradas. Los dos objetivos principales del diseño son prevenir grietas superiores en los pasillos descargados y evitar excesivos asentamientos debido a la consolidación de la subrasante. Las grietas superiores son causadas por la tensión en la parte superior de la losa, y dependen en gran parte del espesor de la misma, ubicación de la carga y deflexiones de la subrasante a corto y largo plazo.

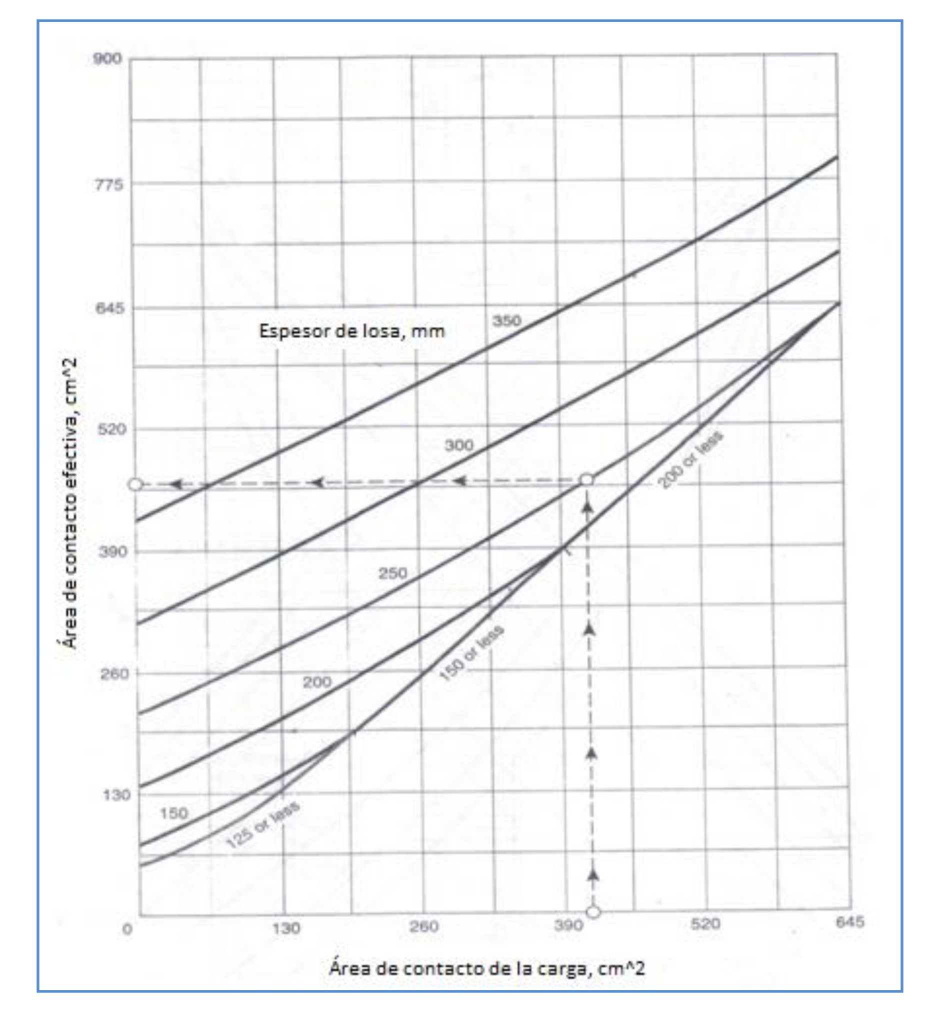


Figura 21. Relación entre área de contacto efectiva y el área de contacto de la carga
Fuente: Adaptado de Concrete FloorsonGround. PCA

3.6.1.3 Método del COE (cuerpo de ingenieros)

El siguiente método de diseño de losas de piso de concreto es aplicable en casos de carga pesada, carreteras, calles y almacenes industriales.

Consideraciones básicas: La losa de concreto está sujeta a una variedad de cargas y condiciones, el procedimiento de diseño deberá incluir el espesor de la losa basado en las cargas vivas aplicadas y cargas muertas. El diseño se basa en el concepto de trabajo de esfuerzo.Los esfuerzos que son inducidos por los gradientes de temperatura son también tomados en cuenta.

Requisitos para el diseño:

Cargas vehiculares: Para diseñar la losa expuesta a cargas vehiculares se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de vehículo
- Volumen de tráfico por tipo de vehículo
- Carga de las ruedas
- Volumen promedio de tráfico diario

Distribución de tráfico: Los camiones elevadores han sido divididos en seis categorías con el fin del diseño de losas rígidas.

Forklift Truck Category	*Forklift Truck Maximum Axle Load, kips*	*Maximum Load Capacity, kips*
I	5 to 10	2 to 4
II	10 to 15	4 to 6
III	15 to 25	6 to 10
IV	25 to 36	10 to 16
V	36 to 43	16 to 20
VI	43 to 120	20 to 52

Figura22: Imagen extraída del manual TM-5-809/AFM 88-3

Traffic Category	Pavement Design Index for Road or Street Classification					
	A	B	C	D	E	F
I	2	2	2	1	1	1
II	3	2	2	2	2	1
III	4	4	4	3	3	2
IV	5	5	5	4	4	3
IVA	6	6	6	5	5	4
V (60-kilopound (kip) track-laying vehicles or 15 kip forklifts)	7	7	7	7	7	(*)
500/day	6	6	6	6	6	(*)
200/day	6	6	6	6	6	(*)
100/day	6	6	6	6	6	6
40/day	6	6	6	5	5	5
10/day	5	5	5	5	5	5
4/day	5	5	5	5	4	4
1/day	5	5	5	4	4	4
VI (90-kip track-laying vehicles or 25 kip forklifts)						
200/day	9	9	9	9	9	(*)
100/day	8	8	8	8	8	8
40/day	7	7	7	7	7	7
10/day	6	6	6	6	6	6
4/day	6	6	6	6	6	6
1/day	5	5	5	5	5	5
1/week	5	5	5	4	4	4
VII (120-kip track laying vehicles):						
100/day	10	10	10	10	10	10
40/day	9	9	9	9	9	9
10/day	8	8	8	8	8	8
4/day	7	7	7	7	7	7
1/day	6	6	6	6	6	6
1/week	5	5	5	5	5	5

* Traffic limited to 100 vehicles per day.

Tabla 6: Índice de pavimentos de Diseño

Cargas vivas estacionarias: Se deberá tener en cuenta para el diseño las condiciones de las cargas vivas estacionarias. Para muchos de los casos de cargas vivas estacionarias se presenta a continuación la siguiente fórmula en caso de no encontrar valores dados en la tabla 7.

$$w = 257.876\, s \sqrt{\frac{k.h}{E}}$$

Donde:

w: máxima carga estacionaria viva distribuida permitida [lb/pulg2]
s: esfuerzo permisible de la fibra extrema en tensión que excluye la tensión de contracción [lb/pulg2]
k: coeficiente de balasto [lb/pulg3]
h:espesor de la losa [pulg]
E:módulo de elasticidad de la losa [lb/pulg2]

Table 3-1. Maximum allowable stationary live load

Slab Thickness inches h	Stationary Live Load w in lb/ft² for These Flexural Strengths of Concrete 550 lb/in²	600 lb/in²	650 lb/in²	700 lb/in²
6	868	947	1,026	1,105
7	938	1,023	1,109	1,194
8	1,003	1,094	1,185	1,276
9	1,064	1,160	1,257	1,354
10	1,121	1,223	1,325	1,427
11	1,176	1,283	1,390	1,497
12	1,228	1,340	1,452	1,563
14	1,326	1,447	1,568	1,689
16	1,418	1,547	1,676	1,805
18	1,504	1,641	1,778	1,915
20	1,586	1,730	1,874	2,018

STATIONARY LIVE LOAD

Nota: La tabla se basa en un coeficiente de balasto de 100 [lb/pulg3]

En caso de no ser así se deberá afectar el valor obtenido por el siguiente factor: $\sqrt{k/100}$

Figura 22: Imagen extraída del manual TM-5-809/AFM 88-3

Cargas de pared: A continuación se presentará las siguientes tablas para determinar el espesor mínimo de las losas rígidas.

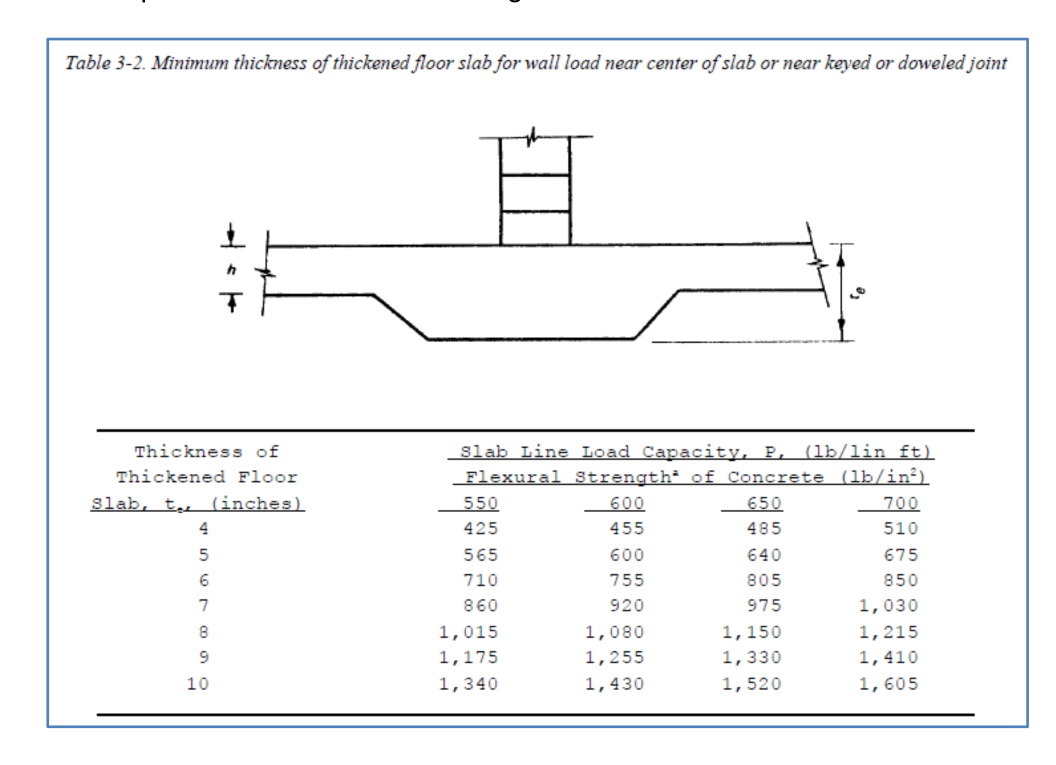


Table 3-2. Minimum thickness of thickened floor slab for wall load near center of slab or near keyed or doweled joint

Thickness of Thickened Floor Slab, t_e, (inches)	Slab Line Load Capacity, P, (lb/lin ft) Flexural Strength^a of Concrete (lb/in²) 550	600	650	700
4	425	455	485	510
5	565	600	640	675
6	710	755	805	850
7	860	920	975	1,030
8	1,015	1,080	1,150	1,215
9	1,175	1,255	1,330	1,410
10	1,340	1,430	1,520	1,605

Nota: La tabla se basa en un coeficiente de balasto de 100 [lb/pulg3]

En caso de no ser así se deberá afectar el valor obtenido por el siguiente factor: $\sqrt[5]{100/k}$

En esta tabla E se asume como: $9\sqrt{f'c}$ donde f'c es el esfuerzo de compresión del concreto [lb/pulg2]

Figura 23: Imagen extraída del manual TM-5-809/AFM 88-3

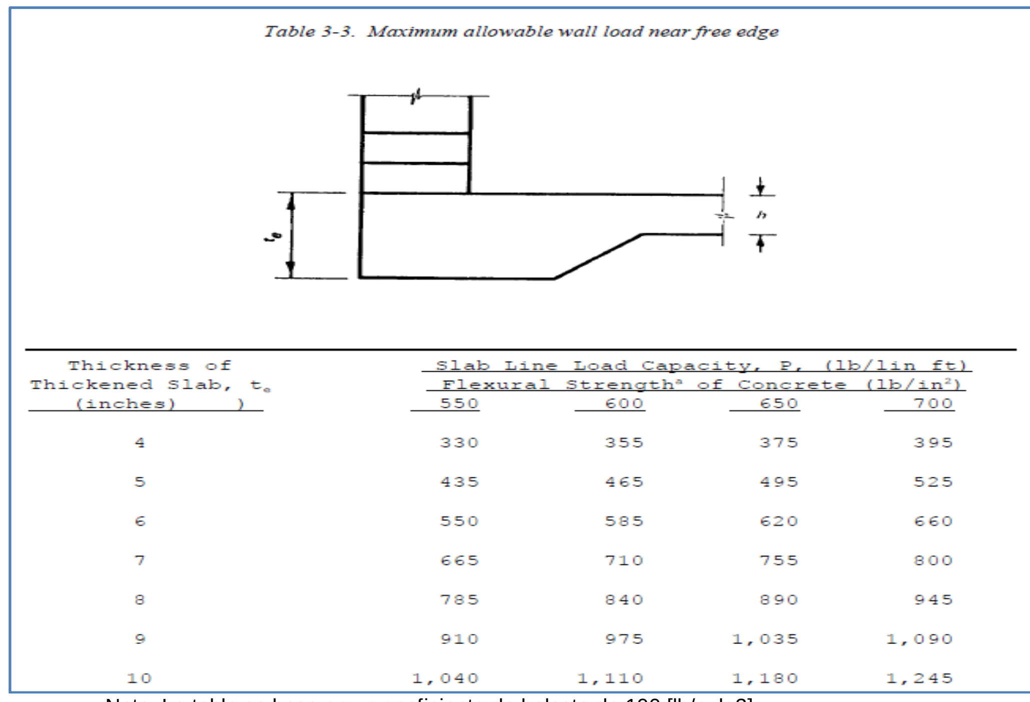


Table 3-3. Maximum allowable wall load near free edge

Thickness of Thickened Slab, t_e (inches)	Slab Line Load Capacity, P, (lb/lin ft) Flexural Strength[a] of Concrete (lb/in²) 550	600	650	700
4	330	355	375	395
5	435	465	495	525
6	550	585	620	660
7	665	710	755	800
8	785	840	890	945
9	910	975	1,035	1,090
10	1,040	1,110	1,180	1,245

Nota: La tabla se basa en un coeficiente de balasto de 100 [lb/pulg3]

En caso de no ser así se deberá afectar el valor obtenido por el siguiente factor: $\sqrt[5]{100/k}$

En esta tabla E se asume como: $9\sqrt{f'c}$ donde f'c es el esfuerzo de compresión del concreto [lb/pulg2]

Figura 24:Imagen extraída del manual TM-5-809/AFM 88-3

Diseño de losas fibroreforzadas: El diseño de losas fibroreforzadas se basa en limitar el radio del esfuerzo del concreto ante la flexión con el máximo esfuerzo de tensión en la junta con la carga paralela o normal al eje de la losa.

Debido al incremento del esfuerzo de flexión y tenacidad, el espesor de la fibra podrá ser reducida significativamente.

El grosor de la losa dependerá de los siguientes factores:

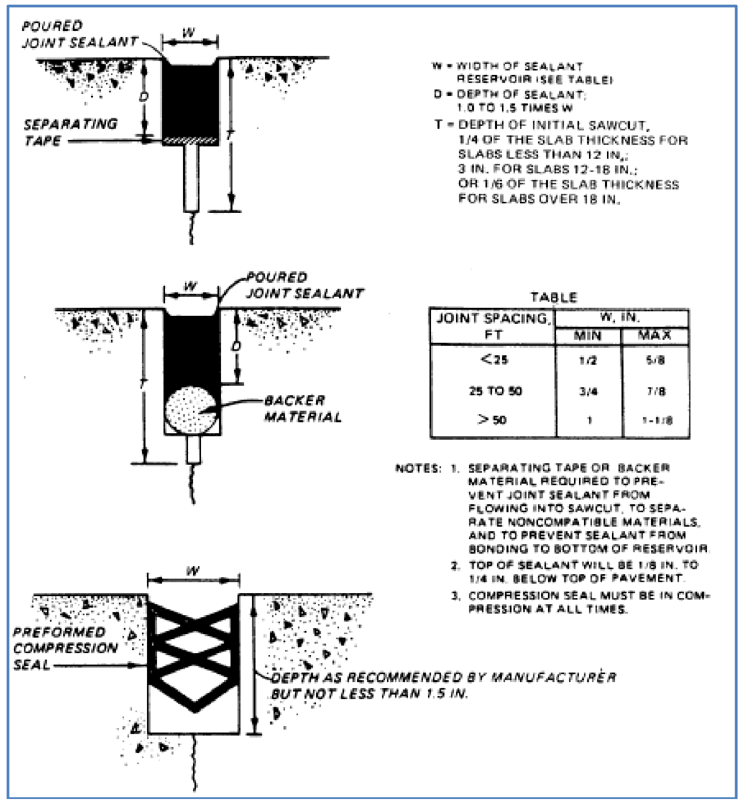
- R: Resistencia a la flexión del concreto
- k: coeficiente de balasto
- h_b: espesor
- E_{fs}: módulo de elasticidad
- Material estabilizado
- Condiciones del vehículo

Condiciones del lugar: Es importante realizar una investigación geotécnica acerca del lugar de trabajo para determinar condiciones de la sub-rasante así como la información preliminar para el diseño. El método del COE trabaja con el método SUCS para la clasificación de suelos. (Ver referencia en MIL-STD619).

Tipos de juntas y uso: Las juntas permiten que se desarrollen la contracción y expansión del concreto a raíz de los cambios de temperatura y humedad. Hay tres tipos de juntas: juntas de contracción, de construcción e insolación.

Juntas de contracción:

Son usadas para controlar las fisuras y limitar la formación de ondas o esfuerzos de pandeo en la losa que son resultados de la contracción por secado y cambios de temperatura y humedad en la losa. A continuación se muestra un gráfico con detalles de las juntas.



JOINT SPACING, FT	W, IN.	
	MIN	MAX
<25	1/2	5/8
25 TO 50	3/4	7/8
> 50	1	1-1/8

Figura 25: Imagen extraída del manual TM-5-809/AFM 88-3

Juntas de construcción: Son usadas para separar el concreto puesto en diferentes etapas, son usadas longitudinalmente y transversalmente. Por lo general son espaciadas a partir de longitudes de 6 a 7m.

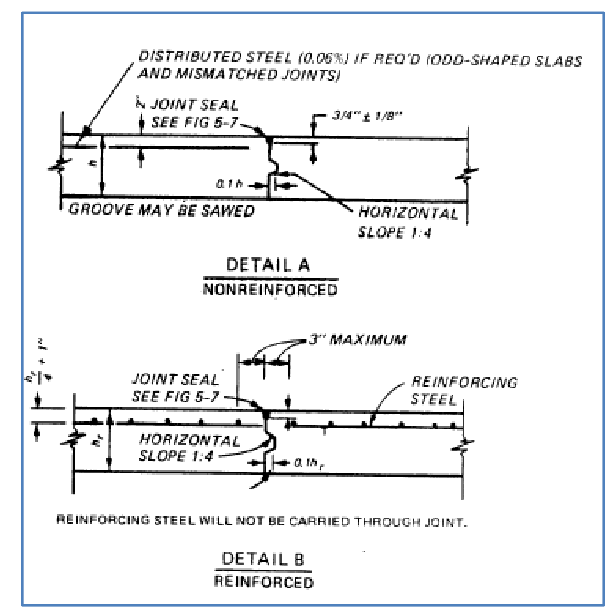


Figura 26: Juntas de Construcción para losas apoyadas sobre el piso

Juntas de aislamiento: son usadas para evitar la transferencia de cargas ocasionadas por diferentes asentamientos entre las losas de piso. En ocasiones sirven para transmitir movimiento horizontal. Debe colocarse este tipo de juntas en lugares donde se apoyan columnas, cimentaciones de columnas y otras cargas que serán aplicadas permanentemente.

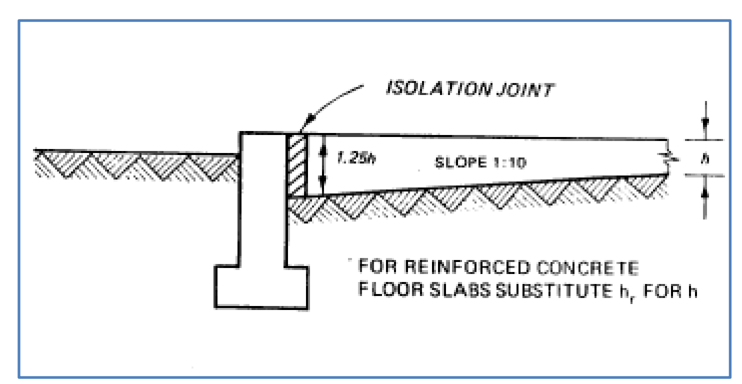


Figura 27: Diseño de entrada para tráfico vehicular

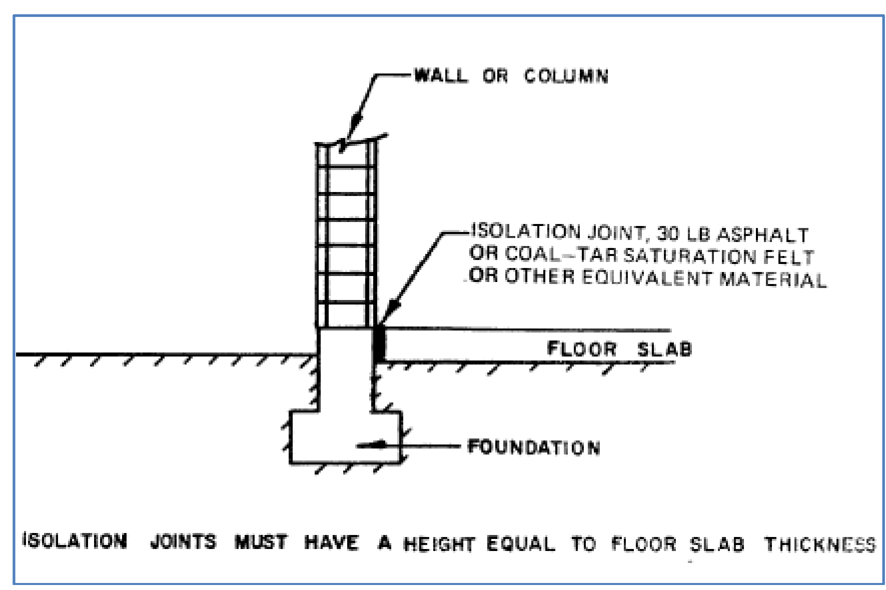


Figura 28: Juntas de aislamiento

Especificaciones de los pasajuntas: A continuación se mostrará una tabla que permite la elección de dovelas (diámetro, longitud y espaciamiento). En caso que la dovela sea mayor a una pulgada, se necesitará conductos como las barras de acero sólidas. Es importante que las pasajuntas sean lisas, rectas y libres de mortero en sus conexiones, por lo que será necesario que sean pintadas o lubricadas.

Pavement Thickness inches	Minimum Dowel Length inches	Maximum Dowel Spacing inches	Dowel Diameter and Type
Less than 8	16	12	3/4-inch bar
8 to and including 11.5	16	12	1-inch bar
12 to and including 15.5	20	15	1- to 1-1/4-inch bar, or 1-inch extra-strength pipe
16 to and including 20.5	20	18	1- to 1-1/2-inch bar, or 1-1/2-inch extra-strength pipe
21 to and including 25.5	24	18	2-inch bar, or 2-inch extra-strength pipe
Over 26	30	18	3-inch bar, or 3-inch extra strength pipe

Tabla 7: Tamaño de dowel y espaciamiento

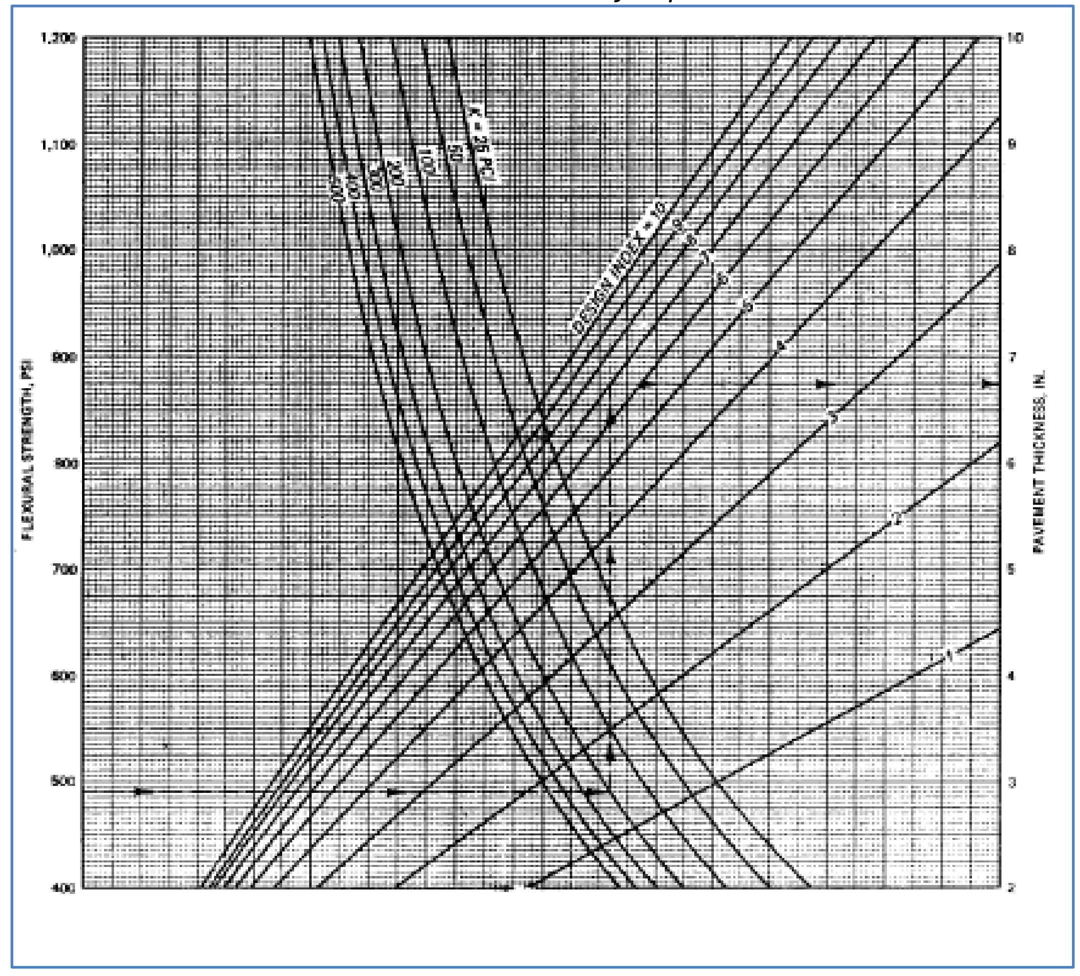


Tabla 8: Curvas de diseño para concreto fibro reforzado

Tabla 9: Curvas de diseño para losas de concreto apoyadas sobre el suelo para montacargas pesados

SLAB THICKNESS, IN.

14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4

DEFLECTION, IN.

0.20
0.19
0.18
0.17
0.16
0.15
0.14
0.13
0.12
0.11
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0

AXLE LOAD = 120 KIP
100
75
50
25

K = 25 PCI
50
100
200
300
400
500

Tabla 10: Curvas de deflexión para losas de concreto sobre el suelo fibro reforzadas

0.20
0.15
0.10
0.05
ALLOWABLE DEFLECTION, IN.
ALL TRAFFIC
10^2 10^3 10^4 10^5 10^6
TRAFFIC PASSES

Tabla 11:Deflexión permisible para juntas de losas de concreto fibro reforzada

3.6.1.4 Método de la WRI

Este método permite dimensionar el espesor de la losa para los casos de cargas de ejes de ruedas y cargas uniformes distribuidas, mas no para casos de cargas concentradas ni variables en la etapa de construcción.

a) Para el caso de cargas de ejes de ruedas se necesita conocer:
- Resistencia a flexión del hormigón
- Cargas de ruedas y separación de ejes
- Módulo de elasticidad del concreto
- Resistencia de la subrasante

Se parte de asumir un espesor se determina el Parámetro de esfuerzo relativo.

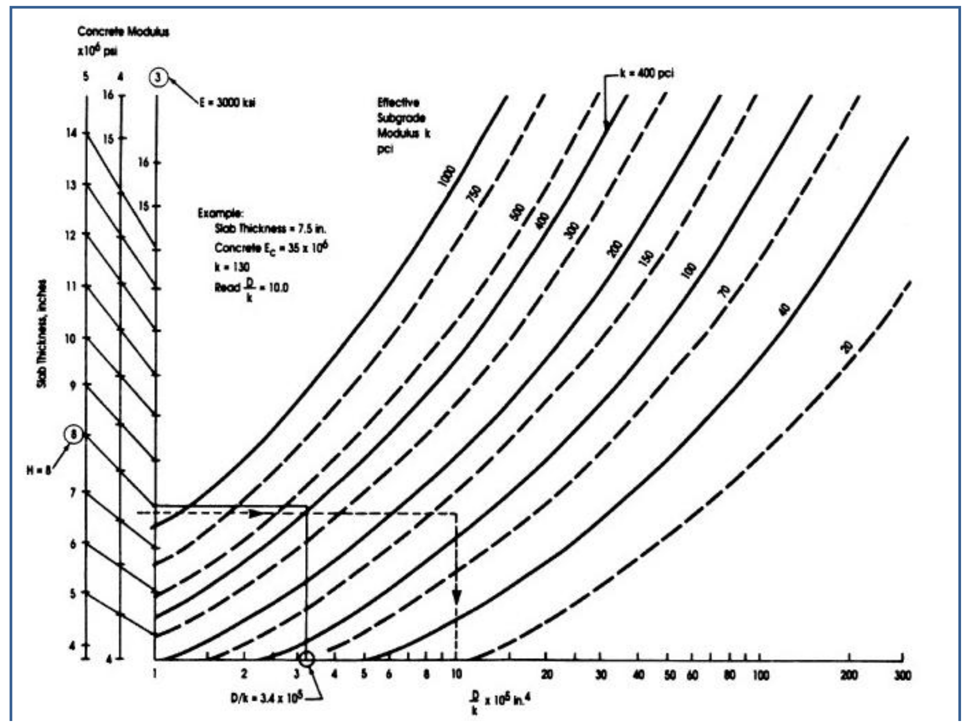


Figura 29: Relación entre el espesor de losa y parámetro de esfuerzo relativo
Fuente: Manual Técnico Maccaferri

En la siguiente figura se obtiene el momento actuante.

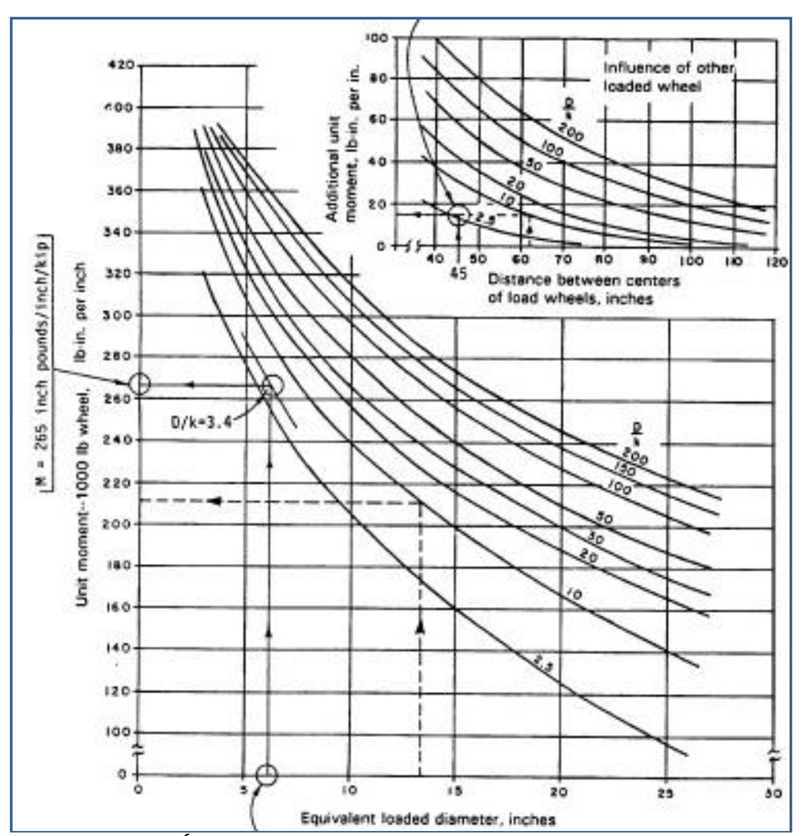


Figura 30: Ábaco en función del parámetro de esfuerzo relativo
Fuente: Manual Técnico Maccaferri

Finalmente con los datos del esfuerzo de la resistencia a flexión de trabajo del material y del momento de diseño, se ingresa al siguiente ábaco para determinar el espesor definitivo de la losa.

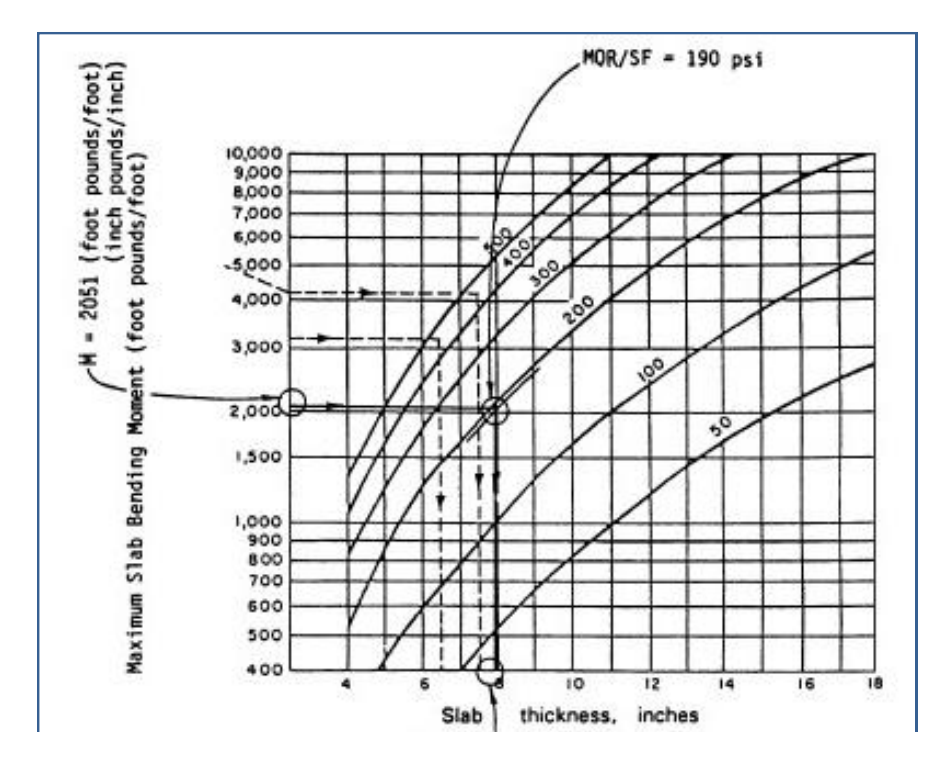


Figura 31: Ábaco para el dimensionamiento definitivo del espesor de losa
Fuente: Manual Técnico Maccaferri

b) Para el caso de cargas distribuidas, se realiza el mismo procedimiento que el caso anterior, pero con la única diferencia que se usan los ábacos mostrados a continuación.

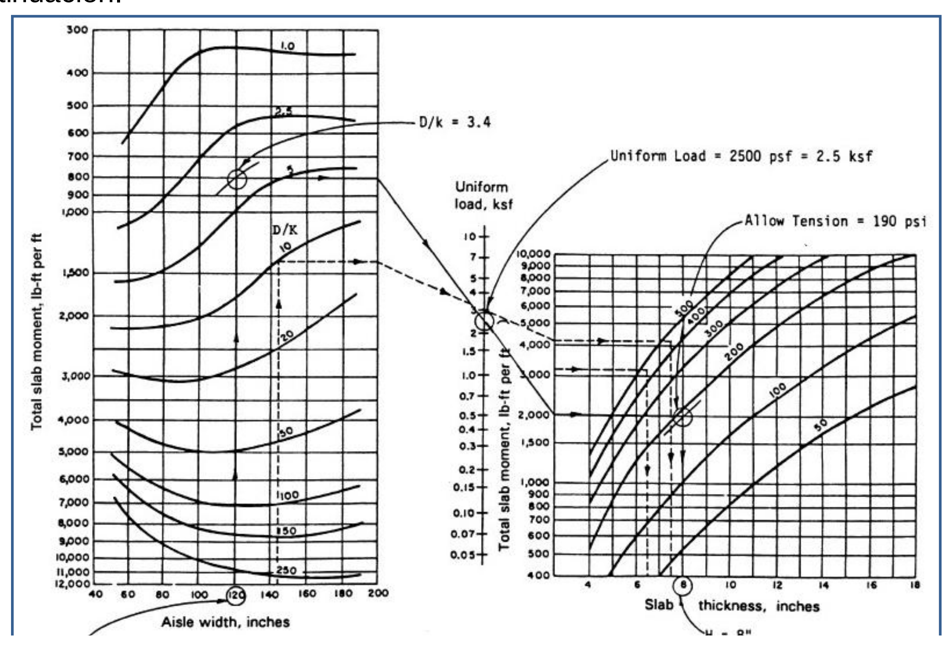


Figura 32: Ábacos para diseño de cargas distribuidas
Fuente: Manual Técnico Maccaferri

3.7 Ejemplos de diseño

Para los ejemplos se utilizarán los siguientes datos de los tipos de carga, según sea el caso:

- Montacarga: CAT P11000, modelo Nissan TB45K
- Rack espalda con espalda 1.20x2.40, carga por pata de 1 ton.

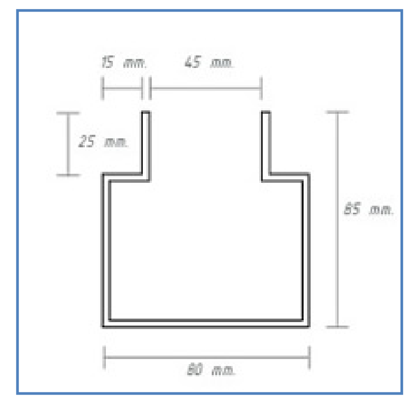


Figura 33: Corte de pata, vista en planta
Fuente. Catriel Estanterías

- Varillas de acero acumuladas hasta una altura de 1m.

Además se considerará un suelo granular con CBR de 10%.

3.7.1 Método Británico

3.7.1.1 Datos generales:

Cargas:

- Rack espalda con espalda: 9.964 KN

- Uniformemente distribuida: 77.0085 KN/m^2

- Máxima carga por llanta: 54.47KN

Diseñando con**: FF1 – 25 – 280**

Materiales:

- f_{cu} = 40 N/mm^2
- f_{ck} = 31 N/mm^2
- $f_{ctk\ (0.05)}$ = 2.1 N/mm^2
- E_{cm} = 33 KN/mm^2
- $R_{e,3}$ = 0.57
- k = 0.05 N/mm^2
- √ = 0.15
- $H_{asumido}$ = 210 mm

3.7.1.2 Cálculos previos:

- $F_{ctk,fl}$ = 4.15 N/mm^2
- 2 $f_{ctk\ (0.05)}$ = 4.2 N/mm^2
  } Elegir el menor valor
- l = 849.6 mm
- Mn = 20.3 kN.mm
- Mp = 11.6 kN.mm
  } Elegir el mayor valor

3.7.1.3 Rack:

Datos:

- Sección de la placa base : 80 x 85 mm
- Separación a ejes: 250 mm
- fs = 1.2

Cálculos previos:

- a = 46.52 mm
- Área combinada =30 062.11 mm2
- a_{equiv} = 97.82
- a/l = 0.115
- Carga total = 19.93 KN
- Carga última requerida = 23.91 KN

Resultados:

a. Cargas internas
   - Para a/l = 0 entonces Pu = 200.57 KN
   - Para a/l = 0.2 entonces Pu = 417.1 KN
   - Para a/l = 0.115 entonces Pu = 325.25 KN > 23.91 KN (diseño correcto)

b. Cargas en borde
   - Para a/l = 0 entonces Pu = 90.806 KN
   - Para a/l = 0.2 entonces Pu = 196.711 KN
   - Para a/l = 0.115 entonces Pu = 151. KN > 23.91 KN (diseño correcto)

c. Cargas en esquina
   - Para a/l = 0 entonces Pu = 40.664 KN
   - Para a/l = 0.2 entonces Pu = 91.91 KN
   - Para a/l = 0.115 entonces Pu = 70.165 KN

   Por presencia de dowells, se asume el 80% de la carga última:
   70.165 > 19.13 kN (diseño correcto)

Verificación por cortante:

a. Para concreto sin refuerzo: d = 157.5mm

b. A la cara del área de carga:
- U_o = 490 mm
- $\sqrt{}_p$ = 0.31 N/mm2
- k2 = 0.5256
- f_{cd} = 20.67
- $\sqrt{}_{max}$ = 5.43 N/mm2 > 0.31 N/mm2 (diseño correcto)

c. En el perímetro crítico:
- u1 = 1480 N/mm2
- k1 = 2.00
- vf = 0.283
- v min = 0.55
- Pp = 194.6 KN > 19.13 KN (diseño correcto)

3.7.1.4 Carga uniforme:

- λ =0.837 m^{-1}
- w = 84.8 KN/m^2> 77.0085 KN/m^2 (diseño correcto)

3.7.1.5 Equipo de Manejo de Materiales

Datos:

- Área de contacto de la rueda: 381 x 87.5 mm2

Cálculos previos:

- a = 103.013 mm
- a/l = 0.121
- fs = 1.6
- Carga última requerida = 87.152kN

Resultados:

a. Cargas internas
- Para a/l = 0, entonces Pu = 200.568 kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 417.1kN
- Para a/l = 0.121, entonces Pu = 332.4 kN

b. Cargas en borde
- Para a/l = 0, entonces Pu = 90.806 kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 196.71 kN
- Para a/l = 0.121, entonces Pu = 155.01 kN

c. Cargas en esquina
- Para a/l = 0, entonces Pu = 40.664 kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 91.910 kN
- Para a/l = 0.121, entonces Pu = 71.731 kN

Por presencia de dowells, se asume el 80% de la carga última:
71.731 kN> 69.721 kN (diseño correcto).

Diseñando con: **FF3 – 25 – 210 kg/cm2**

Materiales:

- f_{cu} = 40 N/mm^2
- f_{ck} = 23.84 N/mm^2
- $f_{ctk\,(0.05)}$ = 1.74 N/mm^2
- E_{cm} = 31 KN/mm^2
- $R_{e,3}$ = 0.74
- k = 0.05 N/mm^2
- √ = 0.15
- $H_{asumido}$ = 240 mm

3.7.1.2 Cálculos previos:

- $f_{ctk,fl}$ = 3.24 N/mm^2 } Elegir el menor valor
- 2 $f_{ctk\,(0.05)}$ = 3.48 N/mm^2
- l = 1009.94 mm
- Mn = 26.224 KN.mm } Elegir el mayor valor
- Mp = 19.406 KN.mm

3.7.1.3 Rack:

Datos:

- Sección de la placa base : 80 x 85 mm
- Separación a ejes: 250 mm
- fs = 1.2

Cálculos previos:

- a = 46.52 mm
- Área combinada =30 062.11 mm2
- a_{equiv} = 97.82
- a/l = 0.0969
- Carga total = 19.93 KN
- Carga última requerida = 23.91 KN

Resultados:

d. Cargas internas
   - Para a/l = 0 entonces Pu = 286.703 KN
   - Para a/l = 0.2 entonces Pu = 592.537 KN
   - Para a/l = 0.0969 entonces Pu = 434.816 KN > 23.91 KN (diseño correcto)

e. Cargas en borde
   - Para a/l = 0 entonces Pu = 124.124 KN
   - Para a/l = 0.2 entonces Pu = 265.385 KN

- Para a/l = 0.0969 entonces Pu = 192.536 KN > 23.91 KN (diseño correcto)

f. Cargas en esquina

- Para a/l = 0 entonces Pu = 52.45 KN
- Para a/l = 0.2 entonces Pu = 116.147 KN
- Para a/l = 0.0969entonces Pu = 83.297 KN

  Por presencia de dowells, se asume el 80% de la carga última: 83.297 KN> 19.13 KN (diseño correcto)

Verificación por cortante:

d. Para concreto sin refuerzo: d = 202.5 mm

e. A la cara del área de carga:

- U_o = 490 mm
- $\sqrt{}_p$ = 0.24 N/mm2
- k2 = 0.543
- f_{cd} = 15.89
- $\sqrt{}_{max}$ = 4.31 N/mm2 > 0.24 N/mm2 (diseño correcto)

f. En el perímetro crítico:

- u1 = 1762 N/mm2
- k1 = 1.99
- vf = 0.29
- v min = 0.48
- Pp = 275.1 KN > 19.1 KN (diseño correcto)

3.7.1.4 Carga uniforme:

- λ =0.704 m^{-1}
- w = 77.4 KN/m^2> 77.0085KN/m^2 (diseño correcto)

3.7.1.5 Equipo de Manejo de Materiales

Datos:

- Área de contacto de la rueda: 381 x 87.5 mm2

Cálculos previos:

- a = 103.013 mm
- a/l = 0.102
- fs = 1.6
- Carga última requerida = 87.152 kN

Resultados:

d. Cargas internas

- Para a/l = 0, entonces Pu = 286.703kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 593.588kN

- Para a/l = 0.102, entonces Pu = 443.212kN

e. Cargas en borde
- Para a/l = 0, entonces Pu = 124.124kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 265.385kN
- Para a/l = 0.102, entonces Pu = 196.166 kN

f. Cargas en esquina
- Para a/l = 0, entonces Pu = 52.448 kN
- Para a/l = 0.2, entonces Pu = 116.147kN
- Para a/l = 0.102, entonces Pu = 84.934kN
  Por presencia de dowells, se asume el 80% de la carga última: 84.934kN>69.72kN (diseño correcto).

3.7.2 Método del PCA

a) Diseño considerando las siguientes especificaciones: **FF1 – 25 – 280**

Datos del Montacarga:

- Carga por eje: 108.94 KN
- Espaciamiento entre ruedas: 2000 mm
- Número de ruedas por eje: 2
- Ancho de los neumáticos: 38.1 cm
- Longitud de contacto: 8.75 cm
- Área de contacto de la carga: 333.78 cm2
- Utilizando la figura 21y asumiendo un espesor de losa de 175 mm, entonces el área de contacto efectiva=347 cm2

Datos de la subrasante y del Concreto:

- Módulo de Reacción de la Subrasante, *k*: 54 Mpa/m
- Resistencia del Concreto a la compresión, f´ c: 30.96MPa
- Resistencia a la Flexión del Concreto, $MR = k\sqrt{f'c}$, utilizando k=0.8 para agregados angulosos, entonces MR= 4.45MPa.

  Se selecciona un factor de seguridad (SF) de 2.2 para repeticiones de esfuerzos ilimitados. Para el diseño considerando la interacción de los agregados, se utilizó un factor de junta (JF) de 1.4; y para el diseño considerando dovelas se usó un JF de 1.1.

- Esfuerzo de trabajo del concreto:

Interacción de los Agregados: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{4.45}{2.2x1.4}\right) = 1.44MPa$

Dowel: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{4.45}{2.2x1.1}\right) = 1.84MPa$

- Esfuerzo en la losa por KN de carga por eje:

Interacción de los Agregados: $\left(\frac{WS}{carga\ por\ eje,KN}\right) = \left(\frac{1.44}{108.94}\right) = 0.0132\ MPa = 13.2kPa$

Dowel: $\left(\frac{WS}{cargaporeje,KN}\right) = \left(\frac{1.84}{108.94}\right) = 0.0169MPa = 16.9kPa$

Entonces, de la figura 20 se obtiene:

- Interacción de los Agregados: 26 cm.
- Dowel: 22 cm.

Si no se considera transferencia de carga en las juntas o grietas:

Borde Libre: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{4.45}{2.2x1.6}\right) = 1.26\ MPa$

Esfuerzo en la losa por KN de carga por eje:

Borde Libre: $\left(\frac{WS}{carga\ por\ eje,KN}\right) = \left(\frac{1.26}{108.94}\right) = 0.0116MPa = 11.6kPa$

Entonces, se obtiene un espesor de 30.5 cm.

b) Diseño considerando las siguientes especificaciones: **FF3 – 20 – 210**

Se mantendrán los mismos datos, excepto la resistencia del concreto:

- Resistencia del Concreto a la compresión, f´c: 23.86 MPa
- Resistencia a la Flexión del Concreto, $MR = k\sqrt{f'c}$, utilizando k=0.8 para agregados angulosos, entonces MR= 3.91MPa.

- Esfuerzo de trabajo del concreto:

Interacción de los Agregados: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{3.91}{2.2x1.4}\right) = 1.27MPa$

Dowel: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{3.91}{2.2x1.1}\right) = 1.62MPa$

- Esfuerzo en la losa por KN de carga por eje:

Unión de los Agregados: $\left(\frac{WS}{carga\ por\ eje,KN}\right) = \left(\frac{1.27}{108.94}\right) = 0.0117\ MPa = 11.7kPa$

Dowel: $\left(\frac{WS}{cargaporeje,KN}\right) = \left(\frac{1.62}{108.94}\right) = 0.0149MPa = 14.87kPa$

Entonces, de la figura 20 se obtiene:

- Interacción de los Agregados: 28 cm.
- Dowel: 24 cm.

Si no se considera transferencia de carga en las juntas o grietas:

Borde Libre: $WS = \left(\frac{MR}{SFxJF}\right) = \left(\frac{3.91}{2.2x1.6}\right) = 1.11\ MPa$

Esfuerzo en la losa por KN de carga por eje:

Borde Libre: $\left(\frac{WS}{carga\ por\ eje, KN}\right) = \left(\frac{1.11}{108.94}\right) = 0.0102MPa = 10.2kPa$

Entonces, se obtiene un espesor de 32 cm.

3.7.3 Método del COE (Cuerpo de Ingenieros)

Datos:

Se procede a hallar el módulo de flexión del concreto, determinado como la siguiente fórmula

$$\boldsymbol{E = 9\sqrt{f'c}}$$

FF1 – 25 – 280

Donde:

f'c: es la resistencia a la compresión [lb/pulg2]
Entonces 315.68 Kg/cm2 = 4490.025 lb/pulg2
E=603 lb/pulg2 ≈ 600 psi

Para el módulo de Westergaard
k= 0.048 N/mm3 =176.83 lb/pulg3 ≈ 175 PCI

El montacarga EP10000 de 80 voltios de cuatro ruedas.
La capacidad máxima de carga por eje es de 23482 lb ó 11105 Kg.

Entonces pertenece al tercer grupo III. (15 - 25 Kips)

Por lo tanto, de la tabla 7 se tiene 4.5".

FF3 – 20 – 210

Donde:

f'c: es la resistencia a la compresión [lb/pulg2]
Entonces 243.33 Kg/cm2 = 3460.966 lb/pulg2
E=529.47 lb/pulg2 ≈ 530 psi

Para el módulo de Westergaard
k= 0.048 N/mm3 =176.83 lb/pulg3 ≈ 175 PCI

Entonces pertenece al tercer grupo III.

Por lo tanto, de la tabla 7 se tiene 5.5".

3.7.4 Método de la WRI

a. Diseño considerando las siguientes especificaciones:
FF1 – 25 – 280 kg/cm2 (teórico)

Datos del Montacarga:

- Cargaporeje: 108.94 KN
- fc' = 315.68 kg/cm2
- E = 4786 ksi
- Espaciamiento entre ruedas: 2000 mm = 78.74 in
- Número de ruedas por eje: 2
- Ancho de los neumáticos: 38.1 cm = 15 in
- Longitud de contacto: 8.75 cm = 3.44 in
- Área de contacto efectiva: 333.38 cm2 = 51.6 in2
- Espesor de losa asumido = 8.5 in
- Modulo de reacción de la sub rasante (k) = 198.94 lb/in3
- Resistencia a la Flexión del Concreto

$$MR = k\sqrt{f'c}$$
$$MR = 0.80\sqrt{30.96}$$
$$MR = 4.45MPa$$

Entonces, se obtiene:

- ✓ De la figura 29 se obtiene el parámetro D/K = 15x 10^5 $in^{4.}$
- ✓ Diámetro de círculo equivalente :

$$D = \sqrt{\frac{51.6 * 4}{\pi}} = 8.1in$$

- ✓ De la figura 30 se obtiene el momento flector básico M_1 = 275 in-lb/in y el momento adicional M_2 = 10 in-lb/in, con lo cual se tiene un total de M = 285 in-lb/in.
- ✓ Entonces se tiene:

$$Carga\ por\ eje = 24.49kip$$
$$Carga\ por\ rueda = 12.25kip$$
$$Momento\ de\ diseno = 285 * 12.25 = 3491ft - lb/ft$$

$$Esfuerzo\ de\ tensi[on\ permisible = \frac{645.42psi}{1.5} = 430.3psi$$

- ✓ Finalmente de la figura 31 se verifica el espesor de losa = 8.0 in

b. Diseño considerando las siguientes especificaciones:
FF3 – 20 – 210

Datos del Montacarga:

- Cargaporeje: 108.94 KN
- fc' = 243.33 kg/cm2
- E = 4351 ksi
- Espaciamiento entre ruedas: 2000 mm = 78.74 in

- Número de ruedas por eje: 2
- Ancho de los neumáticos: 38.1 cm = 15 in
- Longitud de contacto: 8.75 cm = 3.44 in
- Área de contacto efectiva: 333.38 cm2 = 51.6 in2
- Espesor de losa asumido = 8.5 in
- Modulo de reacción de la sub rasante (k) = 198.94 lb/in3
- Resistencia a la Flexión del Concreto

$$MR = k\sqrt{f'c}$$
$$MR = 0.80\sqrt{23.86}$$
$$MR = 3.91MPa$$

Entonces, se obtiene:

- ✓ De la figura 29 se obtiene el parámetro D/K = 15 x 10^5 $in^{4.}$
- ✓ Diámetro de círculo equivalente :

$$D = \sqrt{\frac{51.6 * 4}{\pi}} = 8.1in$$

- ✓ De la figura 30 se obtiene el momento flector básico M_1 = 265 in-lb/in y el momento adicional M_2 = 10 in-lb/in, con lo cual se tiene un total de M = 275 in-lb/in.
- ✓ Entonces se tiene:

$$Carga\ por\ eje = 24.49kip$$
$$Carga\ por\ rueda = 12.25kip$$
$$Momento\ de\ diseno = 275 * 12.25 = 3370ft - lb/ft$$

$$Esfuerzo\ de\ tensi[on\ permisible = \frac{567.1psi}{1.5} = 378psi$$

- ✓ Finalmente de la figura 31 se verifica el espesor de losa = 8.0 in

CAPITULO 4:

Aplicación del programa PAVE 2008

4.1 Introducción del uso del software PAVE 2008

El PAVE 2008 es un software empleado por la empresa Maccaferri para el diseño de losas de concreto sobre suelo. Este programa se basa en las siguientes metodologías:

- Modo elástico.
- Metodología de Yield Line Theory.
- Mecánica de la fractura no lineal.

Según el país se puede escoger el método más conveniente de acuerdo a los estatutos locales. La verificación de los métodos citados anteriormente, se efectúan por la comprobación del ancho de la losa. Además, en este programa se pueden ingresar las propiedades de la subrasante como por ejemplo: el coeficiente de Westergaard, el CBR.

Asimismo, se pueden modelar pavimentos industriales con cargas lineales, puntuales, distribuidas, sistemas de estantería, montacargas y sus especificaciones.

A continuación se colocarán los pasos para iniciar el diseño de un piso industrial con el producto.

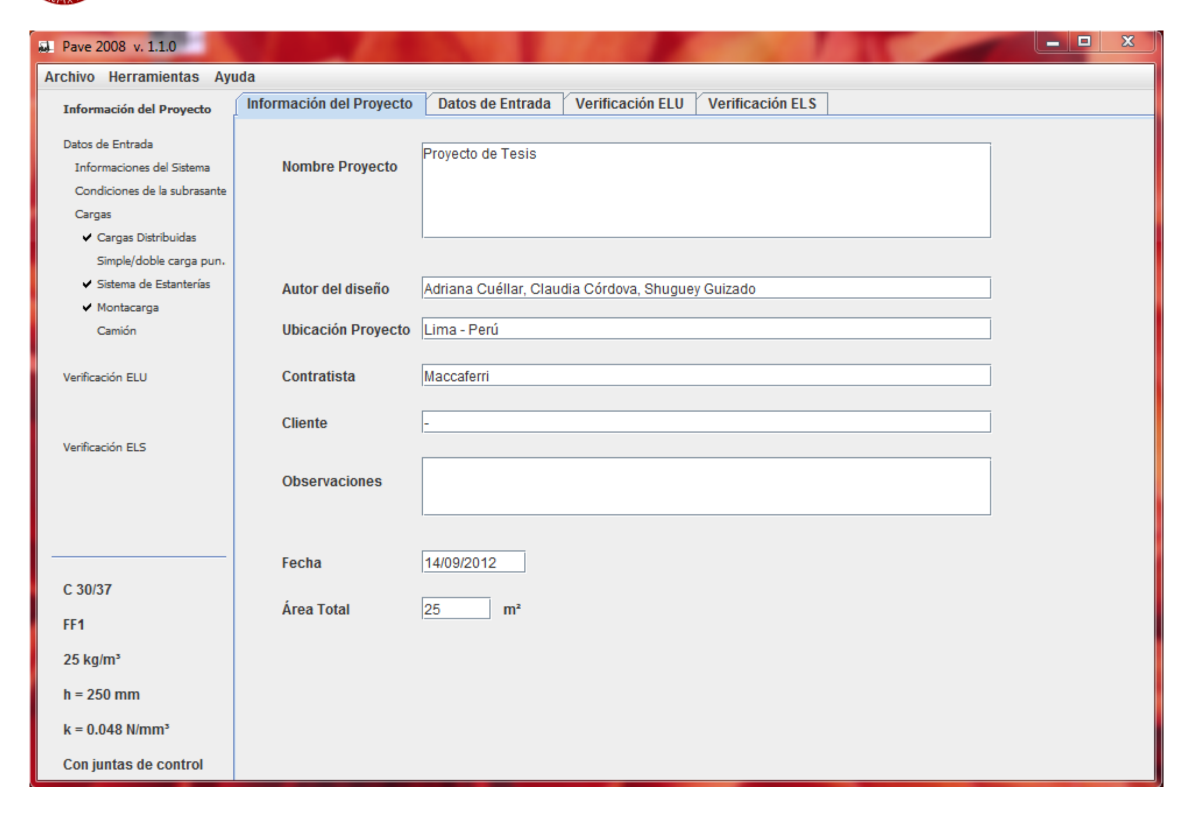


Figura 34: Colocación de la información del proyecto y área de un paño de la losa

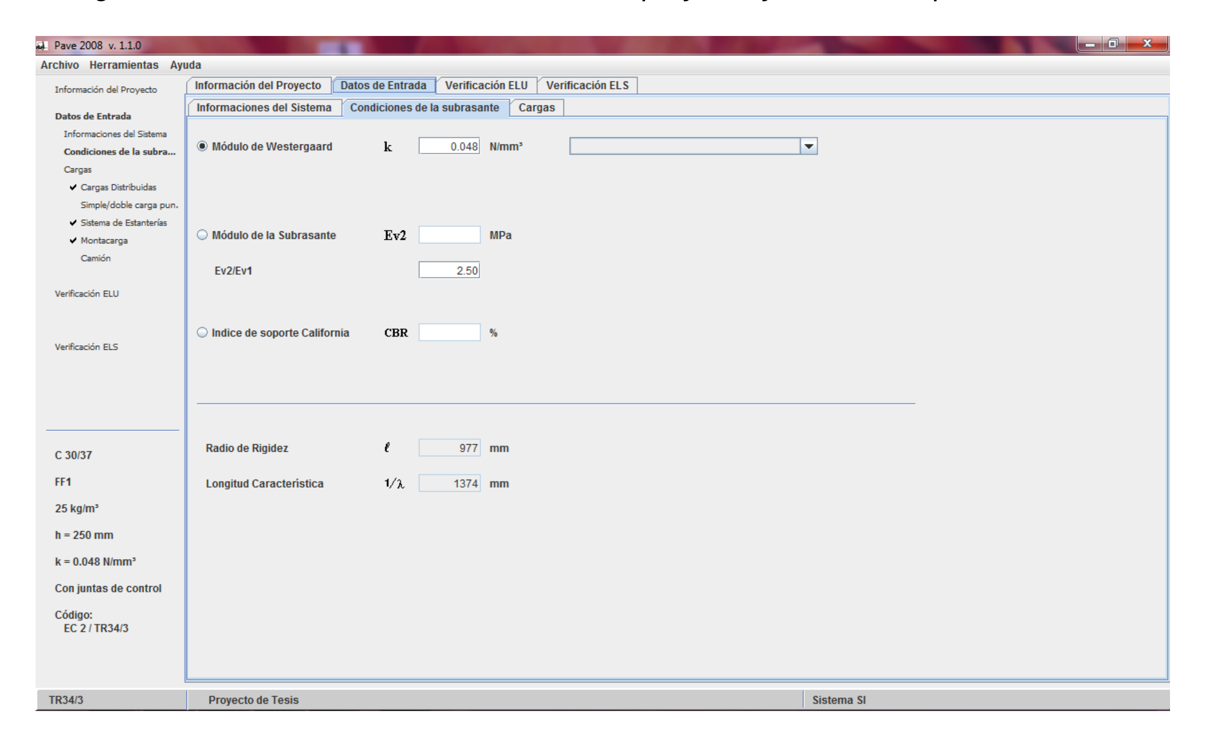


Figura 35: Se introdujo el valor del CBR del suelo

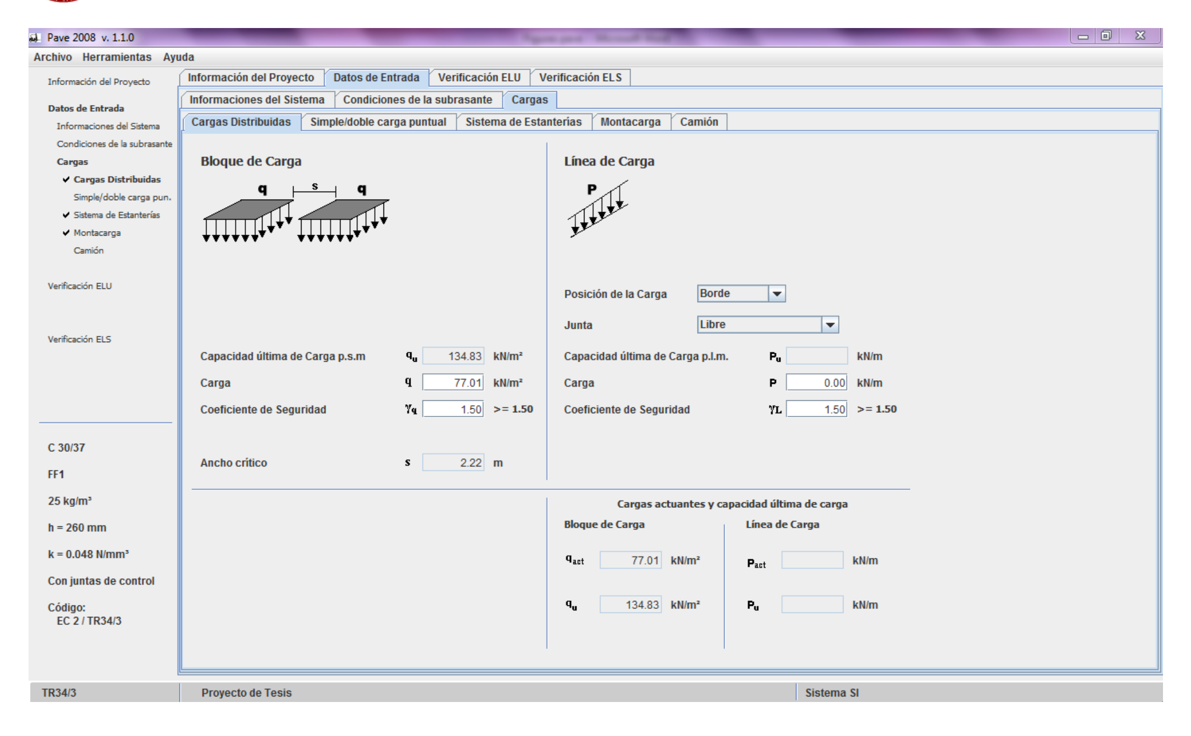


Figura 36: Se definen las cargas distribuidas, que son las varillas de acero apiladas.

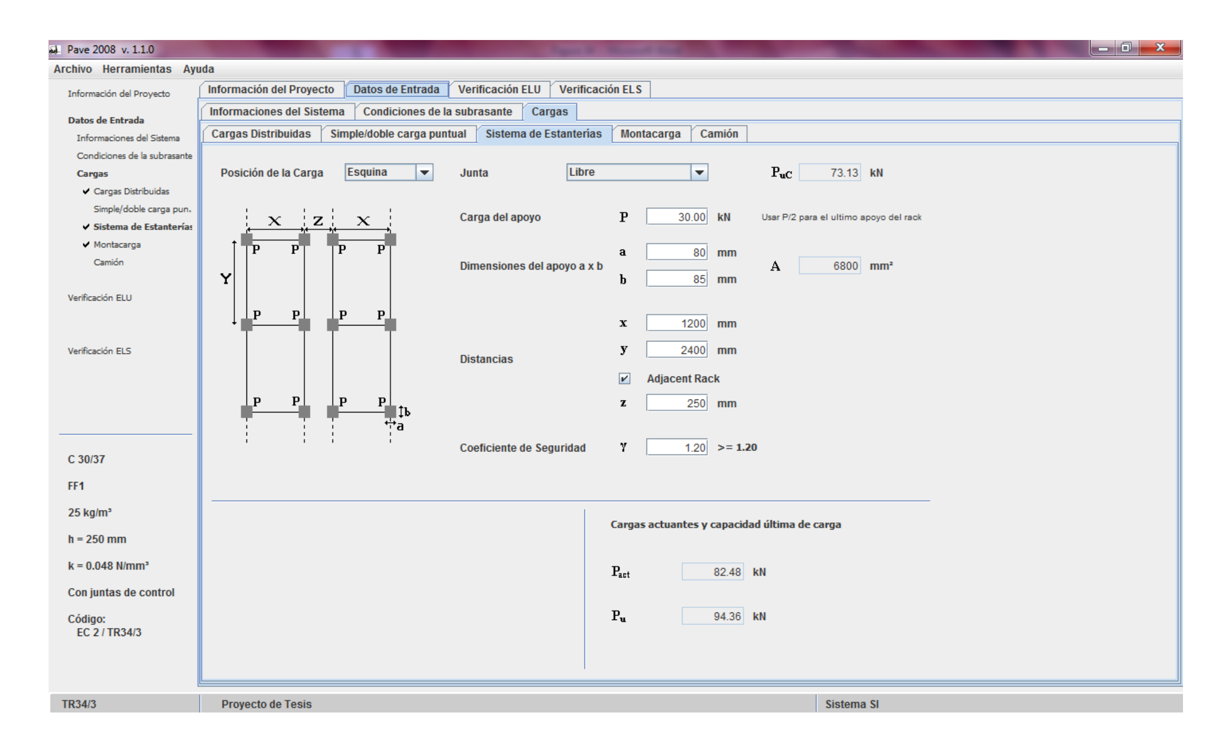


Figura 37: Se definen las dimensiones del rack a utilizar, considerando que estarán espalda con espalda.

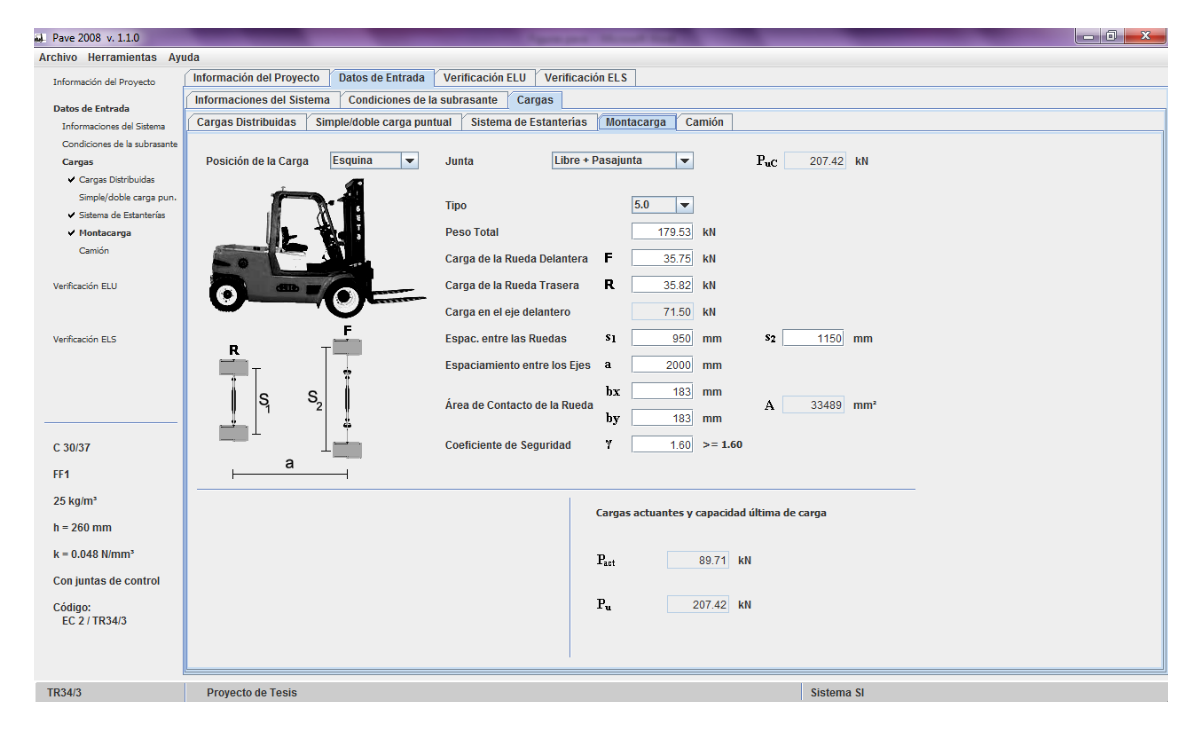


Figura 38: Se ingresan los valores relativos al montacargas de diseño utilizado.

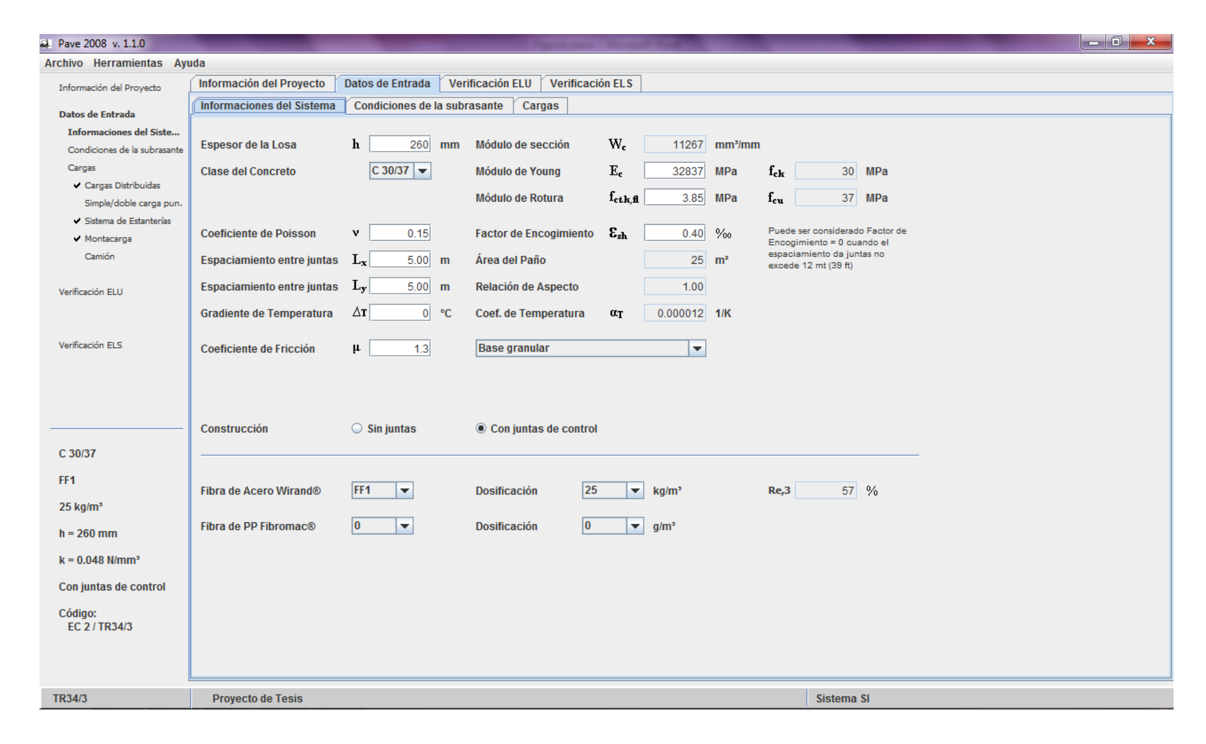


Figura 39: Colocación del espesor de la losa, propiedades del concreto, dosificación y tipo de fibra a utilizar.
Combinación: FF1-25-280

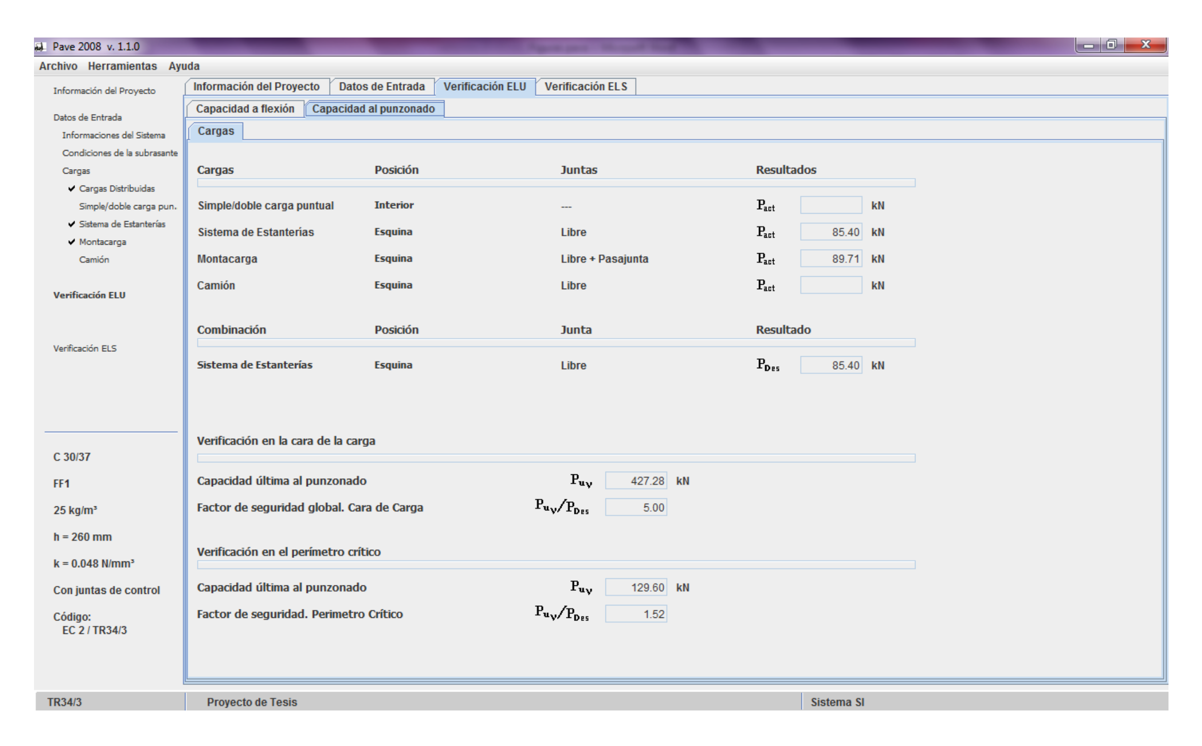


Figura 40: Se verifica dentro de los estados límites últimos, la capacidad de punzonamiento.
Combinación: FF1-25-280

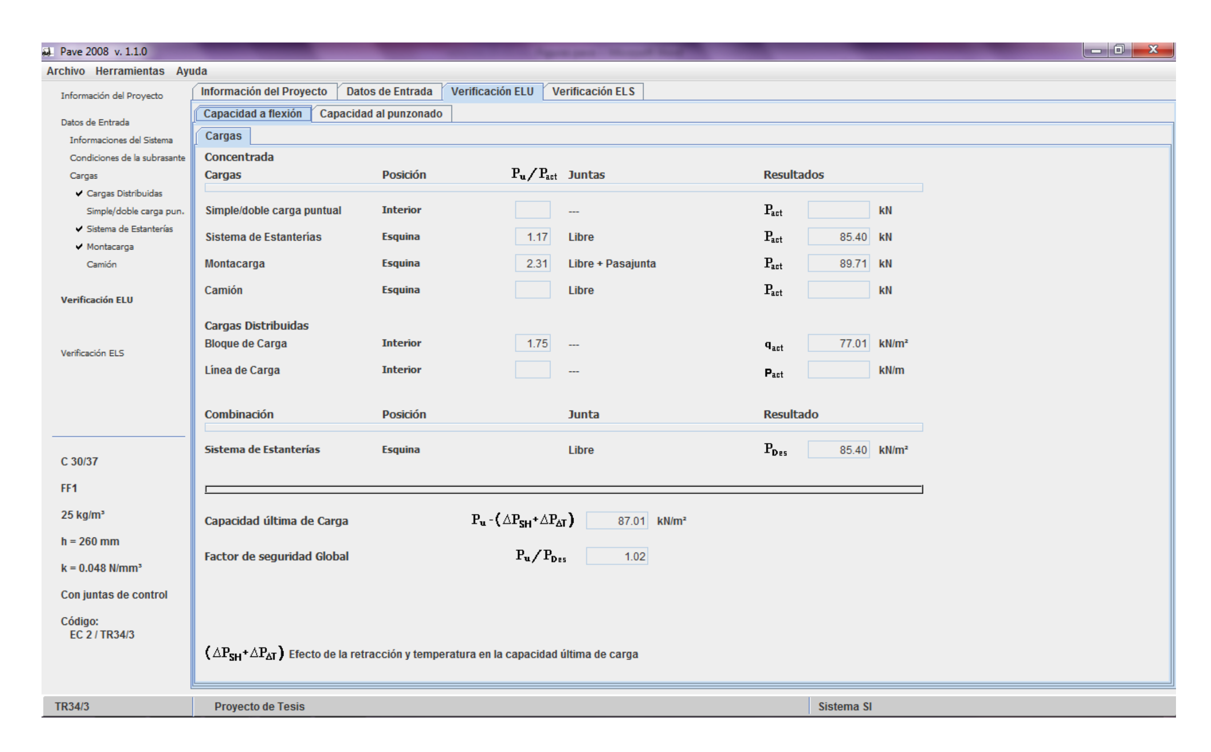


*Figura 41: Se verifica el factor de seguridad del diseño realizado, que éste sea mayor a 1.**Combinación: FF1-25-280***

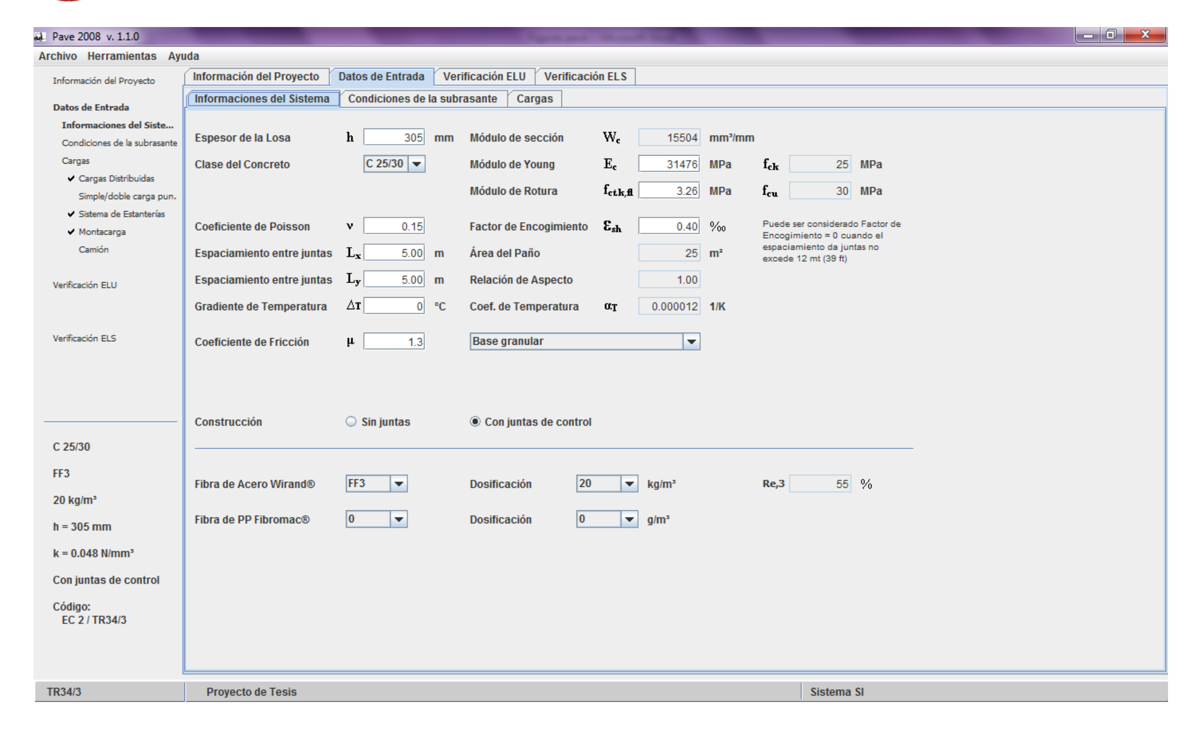


Figura 42: Colocación del espesor de la losa, propiedades del concreto, dosificación y tipo de fibra a utilizar.
Combinación: FF3-20-210

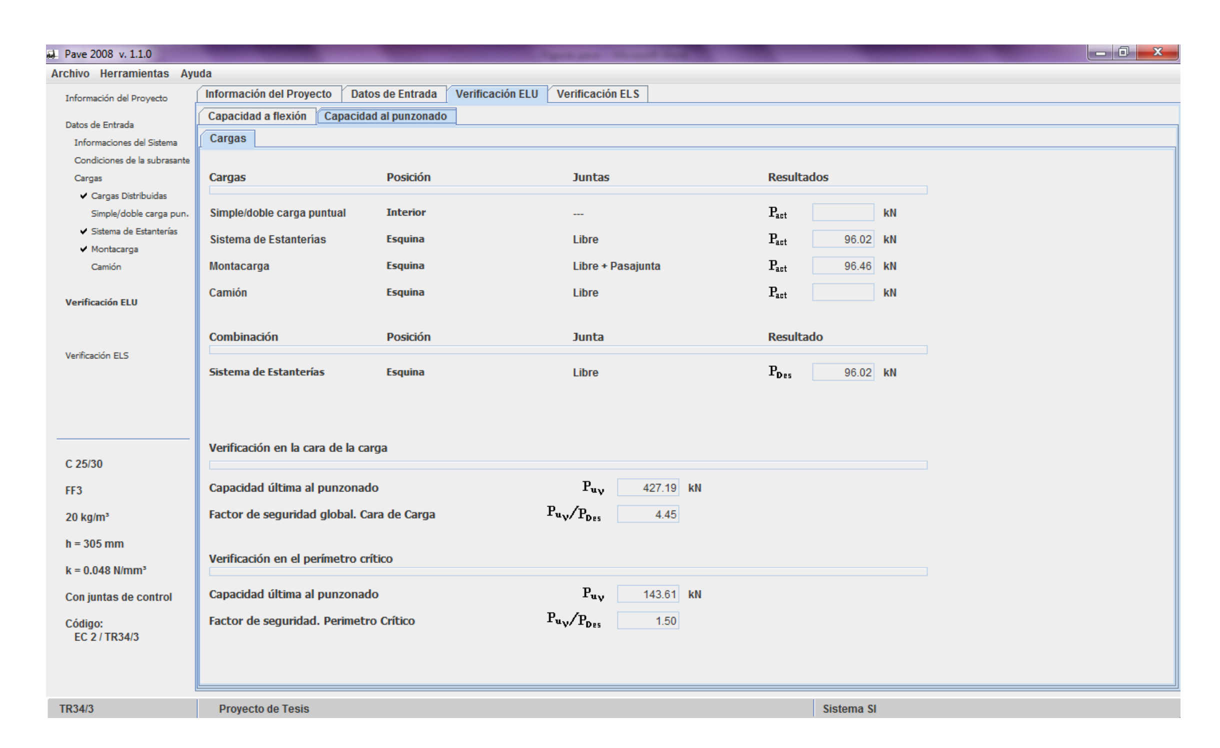


Figura 43: Se verifica dentro de los estados límites últimos, la capacidad de punzonamiento
Combinación: FF3-20-210

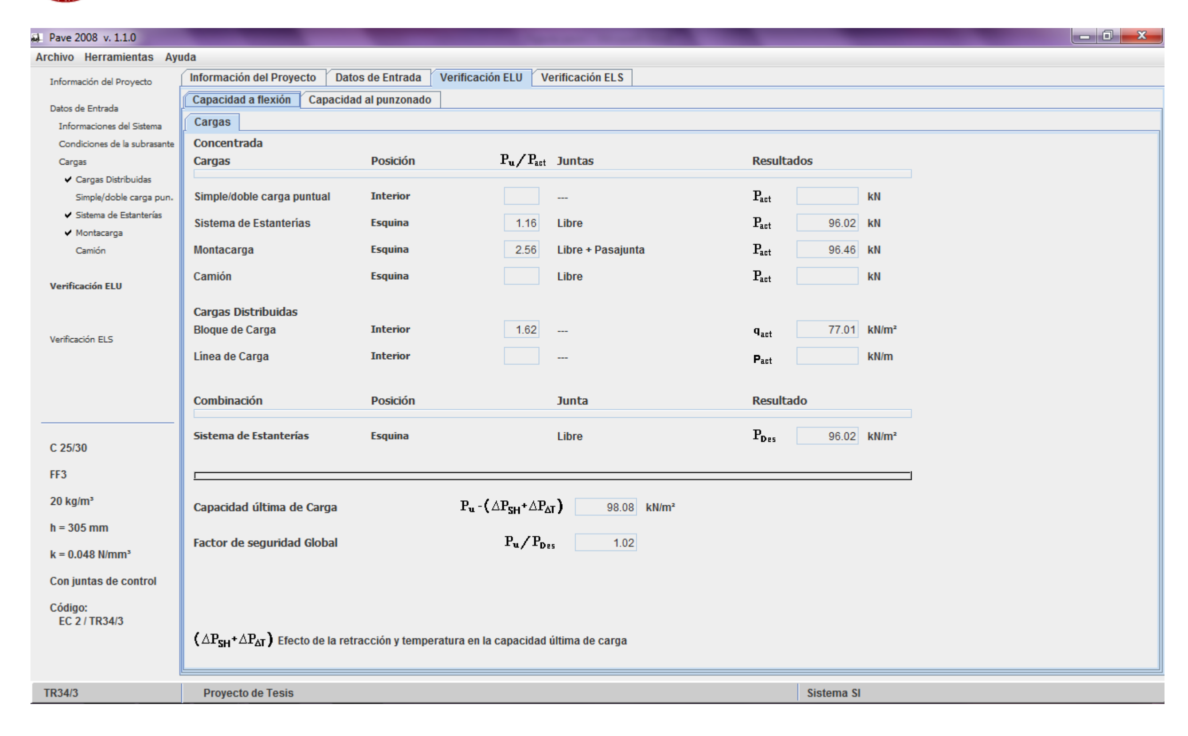


*Figura 44: Se verifica el factor de seguridad del diseño realizado, que éste sea mayor a 1.**Combinación: FF3-20-210***

4.2 Resultados con el Pave 2008

- ***Combinación: FF1-25-280***

CAPACIDAD A LA FLEXIÓN				
Fuerzas sobre la losa de piso	**Pu/Pact**	**Juntas**	**Pact**	
Sistemas de estanterías	1.17	Libre + pasajunta	85.40	KN
Montacarga	2.31	Libre + pasajunta	89.71	KN
Cargas distribuidas	1.75	-	77.01	KN

Mayor combinación	85.40 KN
Capacidad última de carga	87.01 KN
FS Global	**1.02**

CAPACIDAD DE PUNZONAMIENTO					
Fuerzas sobre la losa de piso	**Pu/Pact**	**Posición**	**Juntas**	**Pact**	
Sistemas de estanterías	1.17	Esquina	Libre + pasajunta	85.40	KN
Montacarga	2.31	Esquina	Libre + pasajunta	89.71	KN

Verificación a cara de la carga	
Capacidad última de punzonado	427.28 KN
FS Global a cara de carga	**5**

Verificación en el perímetro crítico	
Capacidad última de punzonado	129.60 KN
FS Global a cara de carga	**1.52**

- ***Combinación: FF3-20-210***

CAPACIDAD A LA FLEXIÓN				
Fuerzas sobre la losa de piso	Pu/Pact	Juntas	Pact	
Sistemas de estanterías	1.16	Libre + pasajunta	96.02	KN
Montacarga	2.56	Libre + pasajunta	96.46	KN
Cargas distribuidas	1.62	-	77.01	KN

Mayor combinación	96.02 KN
Capacidad última de carga	98.08 KN
FS Global	**1.02**

CAPACIDAD DE PUNZONAMIENTO					
Fuerzas sobre la losa de piso	Pu/Pact	Posición	Juntas	Pact	
Sistemas de estanterías	1.16	Esquina	Libre + pasajunta	96.02	KN
Montacarga	2.56	Esquina	Libre + pasajunta	96.46	KN

Verificación a cara de la carga	
Capacidad última de punzonado	427.19 KN
FS Global a cara de carga	**4.45**

Verificación en el perímetro crítico	
Capacidad última de punzonado	143.61 KN
FS Global a cara de carga	**1.5**

CAPITULO 5:

Comentarios y conclusiones

1. Con los resultados obtenidos de la resistencia equivalente a la flexión, Re_3, se puede observar la tendencia de que, bajo las mismas condiciones de dosificación y resistencia, los valores para el tipo de fibra FF1 son menores que las fibras FF3. Esto comprueba las características del producto, ya que se indica que el tipo de fibra FF3 posee mayor ductilidad y tenacidad que el tipo FF1.
.

2. Los resultados obtenidos del Re3, con los que se realizaron los diferentes diseños, se muestran a continuación:

Descripción	Re3 obtenido de ensayos	Re3 del Pave2008
FF1-25-0.51	0.573	0.57
FF3-20-0.64	0.74	0.55

Se observa que la diferencia está en los resultados para el tipo de fibra FF3, ya que la diferencia entre estos valores se encuentra en aproximadamente 35%.

3. En el cuadro siguiente se resume los resultados obtenidos en cuanto al espesor de losa obtenido en los diferentes métodos desarrollados a lo largo del presente informe.

METODO	Espesor de losa (mm)	
	FF1 - 25 - 280kg/cm2	FF3 - 20 - 210kg/cm2
PCA	305	320
COE	114.3	139.7
WRI	215.9	215.9
Británico	210	240

Se debe considerar que el método WRI y COE no tienen ninguna consideración especial en cuanto a la transferencia de cargas entre juntas; mientras que el PCA al considerar la existencia de transferencia de cargas disminuye el espesor inicialmente calculado.

El método británico también considera la transferencia de cargas pero se trabaja con un factor de seguridad para cargas dinámicas (montacarga) de 1.6; mientras que el PCA usa un factor de 1.2.

4. En el método del COE, se asume una cantidad de fibras de acero del orden de 60 a 150 Kg por metro cúbico de concreto, por tal motivo en sus tablas no se considera directamente una cuantía de acero, cabe destacar que su diseño se basa en características el equipo (vehículo) y el volumen de tráfico que existe.

El espesor de 4.5” se debe a que en estas tablas se considera un mayor aporte de fibras de acero, para el caso trabajado en la tesis, el rango de fibras fue del orden de 20 a 25 Kg por metro cúbico ya que se estableció un uso industrial. Por ello, este valor de ancho de losa es muy pequeño en consideración a los demás métodos y se evaluará que porcentaje es necesario para aumentar el efecto de la tensión generada por las fibras.

5. En particular, el método del cuerpo de ingenieros provee estatutos para cargas elevadas que se observan en las fuerzas armadas, fuerzas aéreas y militares del país, ya que los aviones, camiones con orugas y equipo de armamento tienen un mayor peso que implica mayor compresión y tensión en los pavimentos.

6. Para el ensayo a los tercios de las vigas prismáticas, se elaboraron 3 probetas por cada tipo de fibra, por cada dosificación y por cada resistencia de concreto. De acuerdo a los resultados obtenidos, se trabajó el promedio de dos de los tres valores con el fin de disminuir la variación del resultado final.

7. La norma Británica TR-34 indica que el valor del Re,3 debe ser de al menos 0.3. Con el fin que la losa pueda ser considerada como fibro reforzada, ya que de lo contrario se consideraría como una losa simple. Y como se puede observar en los resultados obtenidos, los valores del Re,3 superan esta condición.

8. Resultados de resistencia a la compresión obtenidos:

Fibra	Dosificación (kg/m3)	fc de diseño (kg/cm2)	fc obtenido(kg/cm2)	% de variación
FF1	20	280	300.85	7.4464
		245	292.09	19.2199
		210	229.97	9.5083
	25	280	315.68	12.7414
		245	298.37	21.7848
		210	231.68	10.3262
FF3	20	280	313.82	12.0783
		245	267.74	9.2835
		210	243.33	15.8717
	25	280	320.74	14.5504
		245	279.43	14.0544
		210	244.22	16.2947

Se observa el incrementó que se produjo en las resistencias a la compresión de las probetas ensayadas. Esta variación es de un 15% en promedio.

9. Para realizar el diseño de la losa, se ha considerado un valor del módulo de resistencia de la sub rasante característica de una zona en particular. Sin embargo lo que debe hacerse primero es, partir del valor de dicho parámetro real, y de acuerdo a las características del suelo, realizar un diseño que refleje la realidad del terreno.

10. Ha sido importante haber ensayado los agregados que se usan en Perú en el área de construcción, puesto que a partir de la curva característica real, se ve reflejado en una adecuada dosificación y por ende un mejor comportamiento del concreto ante los efectos de contracción, resistencia requerida y vida útil de la estructura.

11. Para la elaboración de la dosificación, se usó el método de Fuller, que toma en cuenta información granulométrica de los agregados propios del lugar, con el fin que se consideren las características físicas del agregado; lo cual al igual que el ítem anterior se transmite en una mejor calidad del concreto.

12. Para la parte práctica de los ensayos se hizo uso de normativa americana, es decir del código ACI puesto que para que los ensayos sean normados, el laboratorio hace uso de los estándares establecidos por el ACI, tal como es la velocidad de ensayo y considerando la condición de la norma JIS A 1106 y la JSCE-SF4 que indican realizar los ensayos hasta una deflexión de 3mm. Para la parte teórica se hizo uso de lo que indica las normas japonesas antes mencionadas.

13. La norma británica y la del ACI, indica que el ensayo de carga a los tercios es válido si la falla de la viga se da dentro de la longitud del claro entre apoyos. Para todos los casos ensayados, se cumplió con este requerimiento.

14. Se observó en los gráficos Carga vs deformación que las probetas de dosificación 20kg/m3, luego de llegar a la carga máxima la pendiente de caída es un tanto brusca y la recuperación de la curva cuando la fibra entra a trabajar, porque ya el concreto ha fallado, no es significativa. En cambio, las probetas con dosificación de fibra de 25kg/m3 la caída no es tan brusca y la recuperación de la curva en algunos casos supera la carga máxima inicial.

15. Los factores de seguridad obtenidos del pave2008 son mayores a uno, por lo que el espesor de la losa asumido cumple con un diseño apropiado. Se comprobó que para valores menores de 175 mm considerados, esto no se cumplía.

16. En los cálculos realizados para determinar el espesor de la losa, no se ha tomado en cuenta los efectos de la temperatura. Sin embargo, para poder realizar una comparación adecuada con el programa PAVE 2008, debe considerarse los efectos de temperatura.

17. Los métodos PCA y WRI tienen un grado de incertidumbre puesto que, la mayoría de los valores obtenidos son a partir de cuadros, en los cuales no se puede obtener resultados con precisión.

CAPITULO 6:

Bibliografía

- GALLOVICH, Antonio

  2007 *Fibras como elemento estructural para el Refuerzo del Hormigón. Manual técnico*. Brasilia: MACCAFERRI América Latina.

- Las soluciones para la ingeniería estructural. Pavimentos reforzados con fibra de acero. Brasilia: MACCAFERRI América Latina.

- Norma ASTM A820-04: Standard Specification for steel fibers for fiber – reinforced concrete.

- Norma ASTM C78: Standard Test Method for flexural Strength of Concrete.

- Norma ASTM C192: Standard Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory.

- Norma ACI 360R-06: Design of Slabs on Ground.

- Norma Japonesa JSCE SF-04: Method of test for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete.

- Norma Japonesa JIS A 1106: Method of Test for flexural Strength of concrete.

- Technical Report 34: Concrete Industrial Ground Floors.

- PCA Ground Floors of concrete.

- ACI 224.ER-95 Joints in concrete construction.
- Norma ASTM C1609: Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using beam with Third - Point Loading).
- http://www.catrielestanterias.com.ar/racks.html
- http://www.cat-lift.com/_cat/PDFs/CECV0018-01/CECV0018-01.html
- AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. Pavimentos de Concreto: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1995.
- MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: Universidad Católica de Colombia, 2010.
- PAVE 2008 – manual de uso del programa para diseño de pisos industriales en concreto reforzado con fibras de acero (CRFA)
- Standard specification for steel fibers for fiber-reinforced concrete **A 820 – 01**
- Standard specification for steel fibers for fiber-reinforced concrete **A820/A820m – 11**
- Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete **C143/C143m – 10a**
- State-of-the-art report on fiber reinforced concrete **ACI 544.1R-96**
- Soils and geology procedures for foundation design of buildings and other structures (except hydraulic structures) **Army Tm 5-818-1 Air Force Afm 88-3, chap. 7**
- Technical instructions structural design criteria for buildings **Ti 809-02 1** September 1999
- Engineering drawing standards manual, Mechanical engineering branch, Goddard space flight center. Greenbelt, Maryland. **x-673-64-1f**
- Design considerations for steel fiber reinforced concrete **ACI 544.4R-88**
- Concrete floor slabs on grade subjected to heavy loads **Tm 5-809-1/Afm 88-3, chap. 15,** Washington, D.C., 1987.
- Rigid pavements for roads, streets, Walks and open storage areas. **EM 1110-3-132,** 1984.
- Pavement design for roads, Streets, walks, and Open storage areas. **AFM 88-7, CHAP. 1**